نظم الحماية الكهربائية

Electrical Protection Systems

الجزء الثاني

الدكتور المهندس

سامر عزمي عبد الجواد



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

الإعصار العلمي

نظم الحماية الكهربائية

Electrical Protection Systems

(الجزء الثاني)

نظم الحماية الكهربائية

Electrical Protection Systems

(الجزء الثاني)

تأليف

الدكتور المهندس

سامر عزمي عبد الجواد

الطبعة الأولى

2014م – 1435هـ



دار الإعصار العلمي للنشر والتوزيع



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية(2013/8/3001)

621.31

عبدالجواد، سامر عزمي

نظم الحماية الكهربائية/ سامر عزمي عبد الجواد.- عمان: مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، 2013.

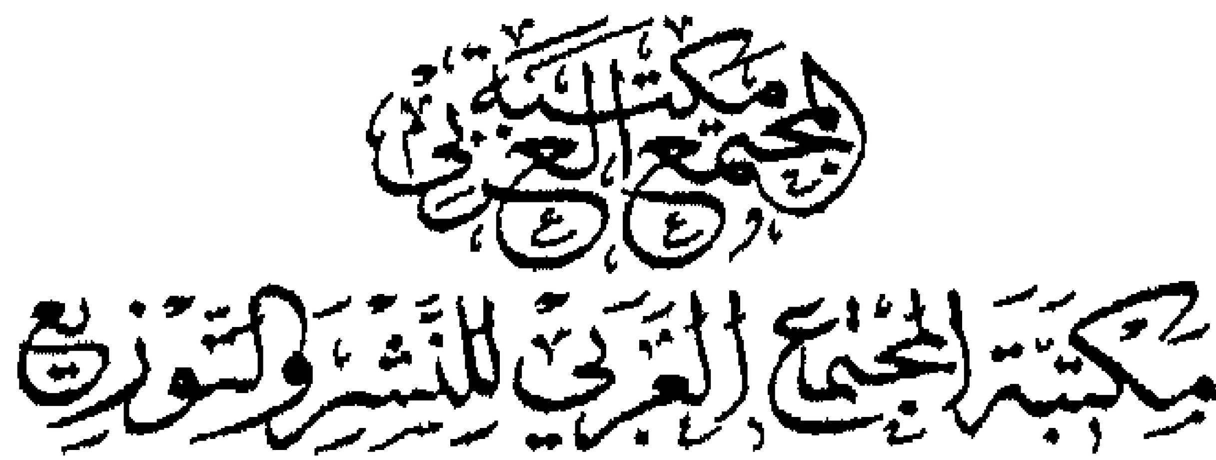
ج1، ج2 ( ) ص

ر.أ. : 2013/8/3001

الواصفات: /الهندسة الكهربائية//الكهرباء/

الطبعة العربية الأولى

2014م – 1435هـ



عمان – وسط البلد – ش. السلط – مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن
عمان – ش. الملكة رانيا العبد الله – مقابل كلية الزراعة – مجمع زهدي حصوة التجاري
www: muj-arabi-pub.com
Email: Info@ muj-arabi-pub.com
Email: Moj_pub@yahoo.com



دار الإعصار العلمي للنشر والتوزيع

الأردن- عمان- مرج الحمام- شارع الكنيسة- مقابل كلية القدس
هاتف 0096265713906 فاكس 0096265173907
www.dar-aleasar.com

ISBN 978-9957-83-356-5 (ردمك)

المحتويات

الفصل الأول
محولات الجهد والتيار (CT and VT)

الفصل الثاني
الحماية المسافية

الموضوع	الصفحة

الفصل الثالث

حماية محولات القدرة الكهربائية

الفصل الرابع

حماية المولدات الكهربائية

الفصل الخامس

حملة قضبان التوزيع

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

المقدمة

إن اعتماد الحياة البشرية على كوكبنا أصبح يعتمد كلياً على الطاقة الكهربائية مما جعل من منظومة القدرة الكهربائية من أضخم النظم التكنولوجية امتداداً والأضخم في عدد المستهلكين والأكبر في عدد العاملين على الإطلاق.

حيث باتت منظومة القدرة الكهربائية تربط المدن والدول ببعضها البعض، وفي الآونة الأخيرة تم ربط الشبكات الكهربائية ببعضها البعض على المستوى الإقليمي بحيث تم ربط ليس فقط الدول ببعضها، بل تم ربط بعض القارات ببعضها البعض من خلال شبكات الربط الكهربائية وذلك لأن الطلب على الطاقة الكهربائية بات يزداد يوماً بعد يوم إلى أن أصبح الاستهلاك اليومي يصل إلى أرقام خيالية، وذلك كله يعود بفضل تطور التكنولوجيا والقدرة المتزايدة على الإنتاج لمواكبة الزيادة على الطلب، وهذا كله بحاجة إلى منظومة حماية نستطيع من خلالها حماية هذه المنظومات الكهربائية العملاقة.

ولأن هذه المنظومات الضخمة تتعرض لشتى العوامل والظروف المناخية، والحياة البرية والعوامل الداخلية والحوادث الناجمة عن العبث، لذا لا بد من إيجاد وتطوير نظم حماية تقي هذه المنظومات الضخمة من خطر الانهيار من خلال السيطرة على الخطأ أو عزل المنطقة التي حدث فيها الخطأ عن باقي المنظومة.

وعادةً ما ينتج عن الخطأ فصل في الخدمة عن منطقة ما، مما ينجم عن هذا الفصل تعطل في الأحمال الصناعية أو لربما الزراعية أو حسب الحمل الذي تم فصل الخدمة عنه مما يؤدي إلى خسائر مادية في تلك المنشآت أو حتى قد تصل في بعض الأحيان إلى خسائر في الأرواح البشرية، مما يدفعنا إلى إيجاد نظم حماية قادرة على حماية المبالغ الضخمة التي انفقت في إنشاء وبناء هذه المنظومات ولضمان استمرارية التغذية الكهربائية لجميع الأحمال المربوطة على هذه الشبكة لضمان عدم توقف عجلة الصناعة أو الزراعة أو حتى الخدمة العامة.


الفصل الأول
1
محولات الجهد والتيار
CT & VT

الفصل الأول

محولات الجهد والتيار (CT and VT)

1.1 المقدمة:

إن محـــولات الجهـــد Voltage transformer والتيـــار Current transformer همـا بوابـة الـدخول لمنظومـة الحمايـة الكهربائيـة. فمـن خلالهمـا تدخل كافة الإشارات Relaying Signals، وبالتالي فإن أي خطأ أو تشويه في هذه الإشارات سوف يتسبب في إرباك المنظومة من خلال القيم الخاطئة التي صدرت من المحولات، وهذا ليس عيباً في أجهزة الحماية بل عيب في CT & VT، لذا وجب علينا دراسة هذه الأجهزة بعناية والتأكد من دقة عملها.

ومما يحتم علينا استخدام مثل هذه المحولات هو أن الجهود والتيارات في شبكة وخطوط القوى الكهربائية عالية ولا يمكن أن تدخل مباشرةً لأجهزة الحماية، لذا تقوم هذه المحولات بخفض قيمة الجهد والتيار إلى قيم يمكنها أن تدخل إلى أجهزة الحماية المستخدمة في المنظومة الكهربائية.

وبصفة عامة فإن محولات الجهد VT ومحولات التيار CT تتشابه فكلاهما يؤدي الوظائف التالية:

1. استخدام قيم قياسية للجهد والتيار للأجهزة.
2. عزل الدوائر الموجودة في منظومة الحماية (أجهزة حماية وقياس) عن التيارات والجهود في منظومة القوى الكهربائية.
3. تخفيض قيمة التيار او الجهد لقيم يمكن لأجهزة القياس تحديدها.

1.2 محولات الجهد Voltage transformer:

تقوم VTs بتخفيض الجهد إلى 100 فولت أو 110 فولت لتغذية أجهزة القياس مثل kVARh، kWh، kV كما تقوم أيضاً بتغذية أجهزة الوقاية مثل Directional O/C, E/F, Over/Under Voltage، وكذلك تغذى الـ VTs أنظمة التحكم مثل Load Shedding Interlock.

ولا بد أن لا ننسى أن محولات الجهد المستخدمة في القياس أو الحماية أن يكون مقدار الجهد في الجانب الثانوي يساوي الجهد الابتدائي مع الأخذ بعين الاعتبار نسبة التحويل، أي يجب أن تكون المفاقيد أقل ما يمكن، وأن تكون نقطة التشغيل للمحول بعيدة عن حدود التشبع Saturation للقلب الحديدي.

والصورة (1 – 1) توضح الشكل والحجم الحقيقي لمحولات الجهد المستخدم للقياس والحماية داخل المحطات GIS أما المحطات الخارجية (محطات التحويل والتوزيع) Outdoor Stations فإن الشكل الحقيقي لمحول الجهد مبين في الصورة (1 – 1).



الصورة (1 – 1) محولات الجهد المستخدم في المحطات GIS

ولهذه المحولات نوعان رئيسيان وهما ما يعرف بـ Potential Transformer والآخر هو Capacitive Voltage Transformer.

1.2.1 كيفية اختيار محولات الجهد VT:

إن محولات الجهد المستخدمة في القياس والوقاية تختلف أساساً عن محولات القوى الرئيسية – المستخدمة في الشبكات لرفع أو خفض الجهد – في قيمة الـ Rated Power لكل منهما، فمحولات القياس ربما لا تتعدى القدرة التي تمر خلالها عدة عشرات من V.A، بينما تصل القدرة المارة خلال محولات القوى إلى ما يزيد عن 300 MVA. كما أن محولات الجهد المستخدمة في القياس أو الوقاية لا تحتاج على سبيل المثال لتبريد، بينما محولات القوى تحتاج إلى تبريد بشكل أساسي لأن القدرة المارة خلالها عالية، ولذا فمن بين الاختلافات عن محولات القوى الاختلاف في الحجم.

والمواصفات التي تحدد المحول المناسب هي:

1. Turns Ratio نسبة التحويل.
2. Accurecy Class نسبة الخطأ في المحول من حيث المقدار والزاوية.
3. Rated Voltage وهو من جهة الجانب الابتدائي.
4. Level Voltage وهو من جهة الجانب الثانوي.
5. Breakdown – Pulse Voltage وهو عبارة عن أقصى قيمة يتحملها المحول بصورة لحظية وليست دائمة.

وأشهر القيم القياسية لدرجة الدقة للمحولات المستخدمة في أجهزة القياس هي 0.1 و0.2 و0.5 و1.0 و3.0. أما درجات الدقة للمحولات المستخدمة مع أجهزة الوقاية فهي تتميز بوجود حرف P بعد الرقم مثل 3P and 5P للدلالة على أنها مخصصة للـ Protection. ويلاحظ انه كلما ارتفعت القيمة كلما كانت نسبة الخطأ المتوقعة أعلى.

1.2.2 نسبة الخطأ Accurecy Class:

يتم تحديد وحساب نسبة الخطأ من خلال المعادلة التالية:

$$Error = \frac{K_n V_s - V_P}{V_P} * 100$$

حيث أن: K_n نسبة التحويل.

V_s الجهد الثانوي.

V_P الجهد الابتدائي.

والجداول (1 – 1)، (2 – 1) يبين لنا نسبة الخطأ المسموح بها في المحولات المستخدمة في أجهزة القياس أو أجهزة الحماية الكهربائية طبقاً للمواصفات البريطانية تحت رقم Bs 3941/1975.

جدول (1 – 1) مقدار نسبة الخطأ في محولات القياس.

Accuracy Class	0.8 – 1.2 Rated Voltage	
	الخطأ في القيمة %	الخطأ في Phase (minutes)
0.1	-/+ 0.1	-/+ 5
0.2	-/+ 0.2	-/+ 10
0.5	-/+ 0.5	-/+ 20
1.0	-/+ 1.0	-/+ 40
3.0	-/+ 3.0	غير محدد

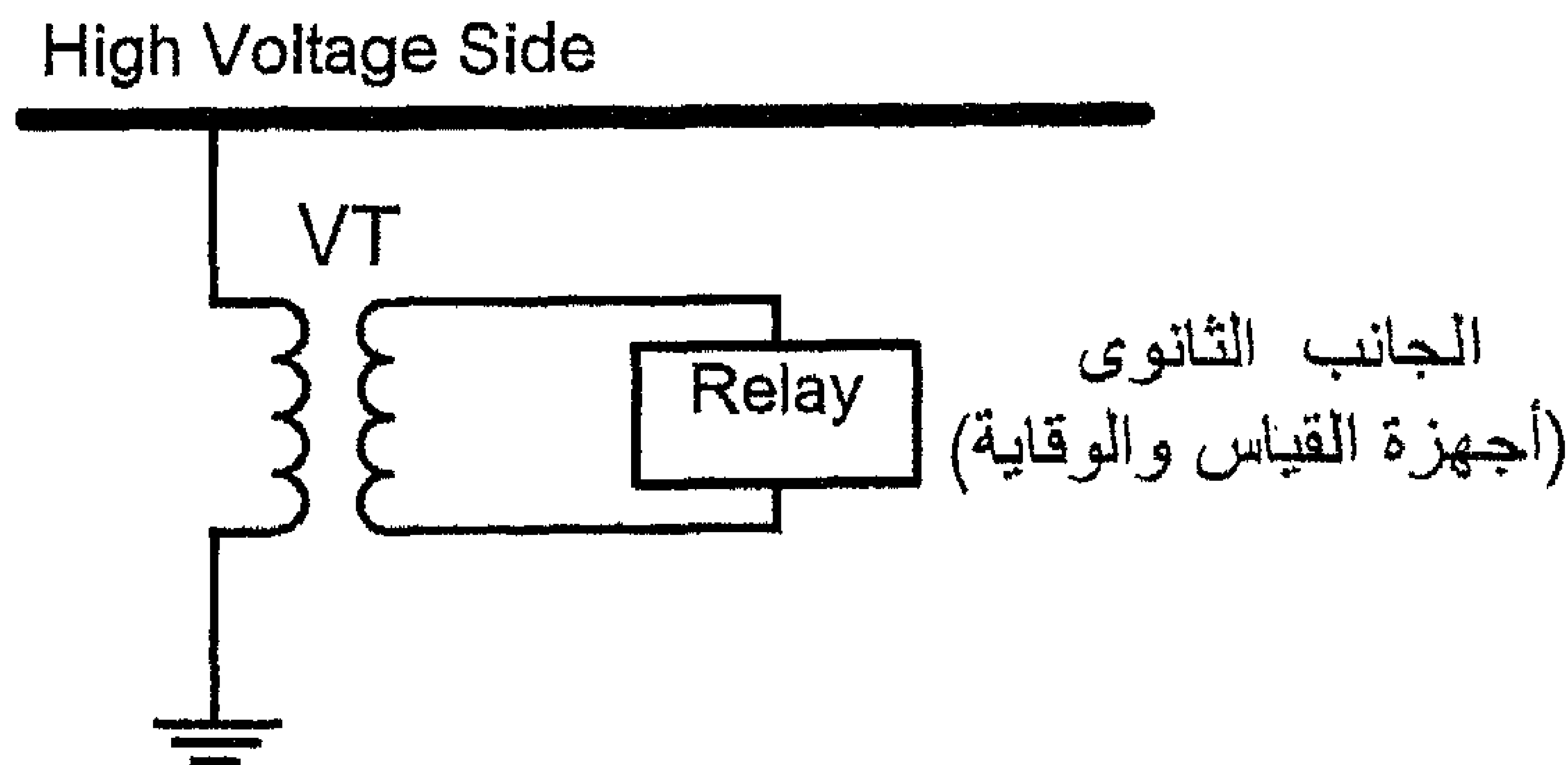
جدول (2 – 1) نسبة الخطأ في محولات الحماية:

Accuracy Class	0.25 – 1.0 Rated Burden at 0.8 pf	
	الخطأ في القيمة %	الخطأ في Phase (minutes)
3P	-/+ 3.0	-/+ 120
6P	-/+ 6.0	-/+ 240

1.2.3 توصيل محولات VT:

بصفة عامة توصل محولات الجهد لقياس الجهد على الأوجه الثلاثة بصورة منفصلة حيث يتم توصيل كل VT بين Phase وNeutral، وبالتالي تتاح لجهاز الحماية أن يرى قيمة جهود الأوجه الثلاثة منفصلة عن بعضها

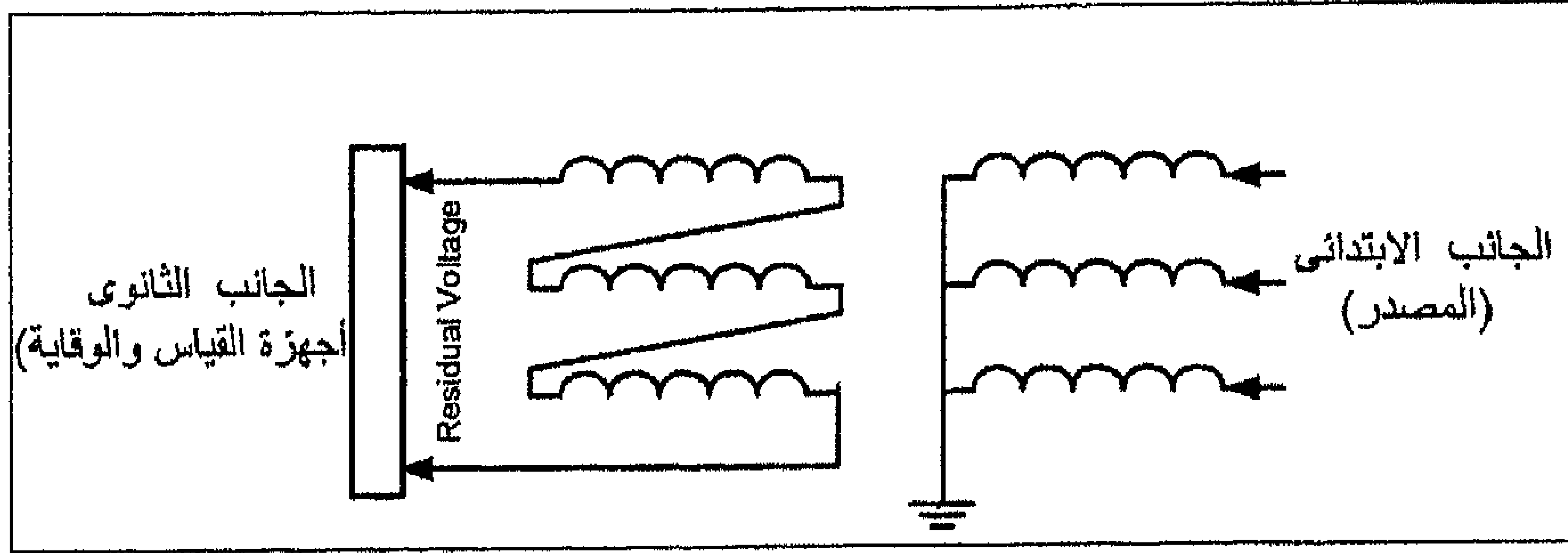
(V_A, V_B, V_C). والشكل (5 – 1) يظهر تركيب VT مع أحد الـ Phases الثلاثة لخط من خطوط النقل.



الشكل (1 –1) كيفية توصيل VT مع إحدى خطوط الشبكة

إلى أنه في بعض الأحيان يتم ربط المحول لقياس مقدار فرق الجهد في الخطوط الثلاثة (الثلاثة أطوار) وفي هذه الحالة تسمى طريقة الربط Residual Conection، وهي فعالة في اكتشاف الأخطاء الغير متماثلة Unsymmetrical Faults، وفي مثل هذه الحالة وعند حدوث خطأ في المنظومة يكون مجموع الجهود في الأطوار الثلاثة لا يساوي صفر كما هو الحال في الظروف الطبيعية. ولكن هذه الطريقة في توصيل VT غير فعالة عند حدوث أخطاء متماثلة Symmetrical Fault وذلك لأن الجهود جميعها متماثلة ومجموعها الاتجاهي يساوي صفر. وبالتالي لا يمكن تمييز الخطأ عن الحالة الطبيعية ومقدار الجهد الذي يظهر يسمى Residual Voltage.

ومن خلال هذه التوصيلة نستطيع قياس Zero Sequence Voltage والذي يساوي مجموع الجهد في الخطوط الثلاثة. ويمكن تسمية هذه الطريقة في التوصيل Broken Delta لأنها تشبه إلى حد ما دلتا مفتوحة. كما هو موضح في الشكل (2 – 1).

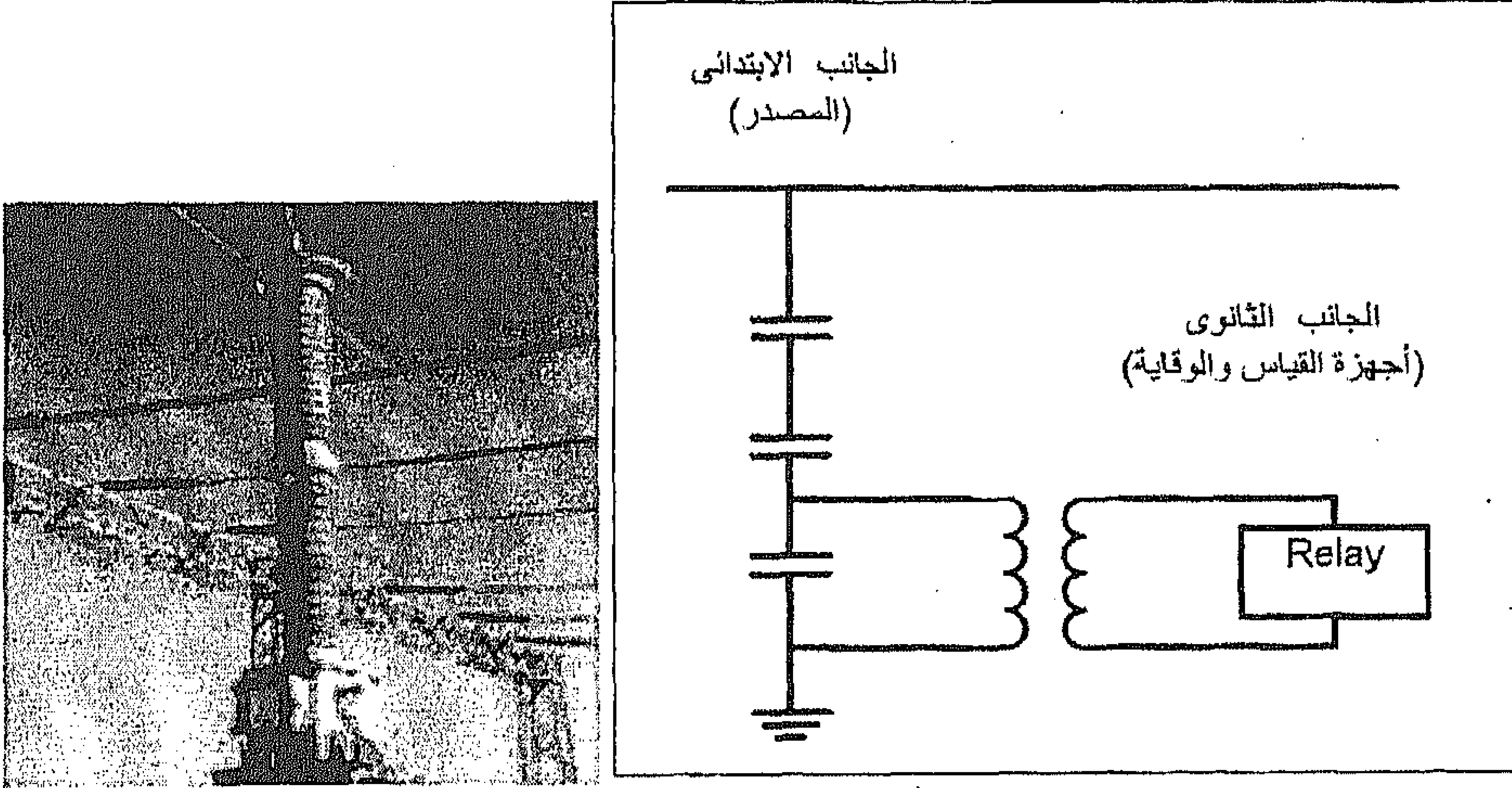


الشكل (2 – 1) توصيل محولات الجهد بطريقة Residual Connection

1.3 القياس باستخدام المكثفات:

إن استخدام محولات الجهد VT في قياس الجهود الفائقة مكلف جداً وذلك بسبب ضرورة وجود عزل كبير للمحول VT، وللتغلب على هذه المشكلة تم إيجاد ما يسمى Capacitar Voltage Trans former ويرمز له (CVT)، حيث أنه يقوم بتوزيع الجهد على سلسلة من المكثفات، ويتم ربط VT على آخر مكثف من هذه المجموعة وبذلك يكون الجهد جهة الابتدائي صغير نسبةً إلى الجهد الأصلي وتكون نفس نسبة سعة المكثف الأخير إلى سعة مجموعة المكثفات، ويتم ربط هذه السلسلة من المكثفات كما هو موضح بالشكل (3 – 1).

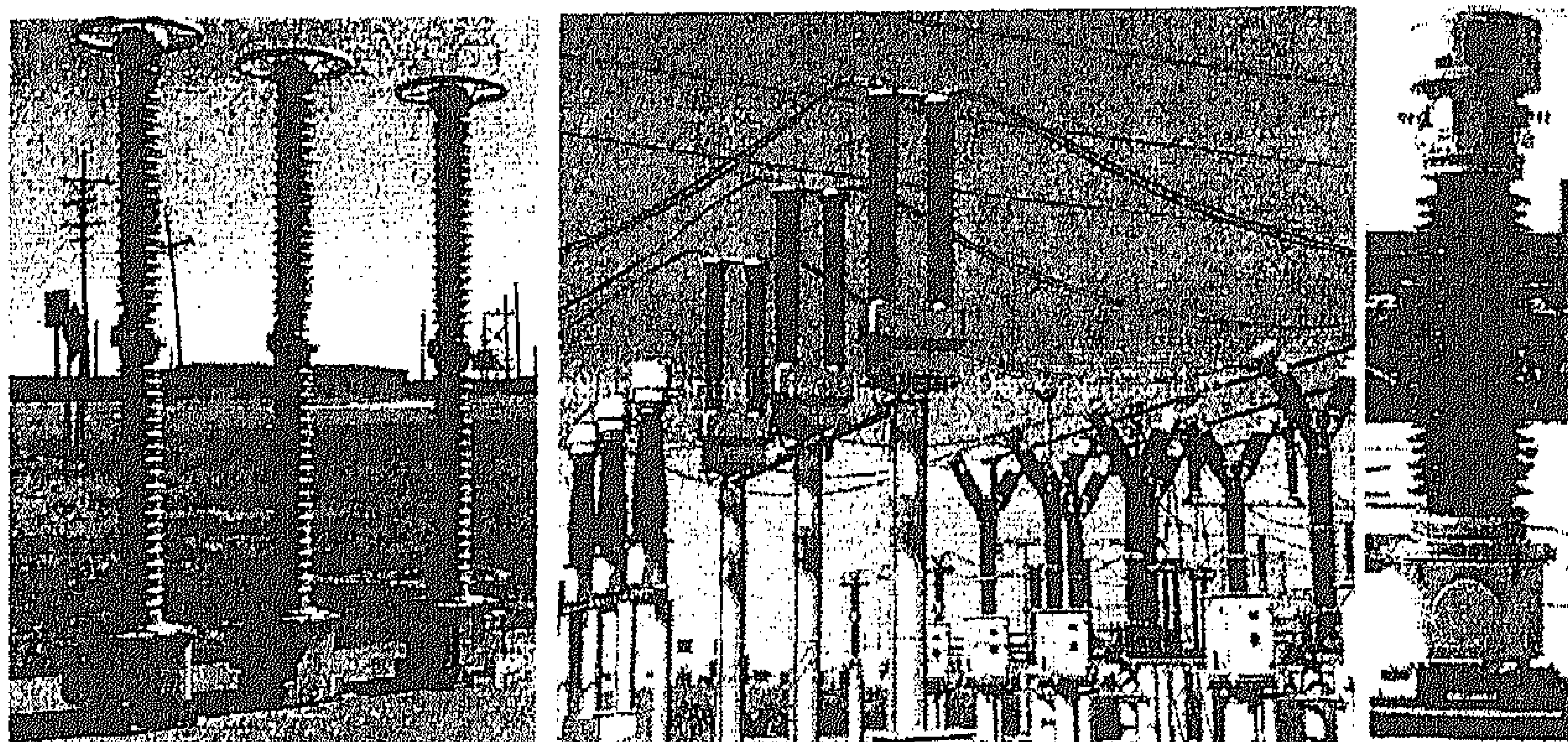
إلا أن لهذه الطريقة عيب وهو وجود تشوه في شكل الموجة، وهذا التشوه ناجم عن وجود المكثفات، وهذه الطريقة قد لا تصلح عن استخدام أجهزة الحماية الرقمية Digital.



الشكل (3– 1) طريقة ربط المكثفات لقياس الجهد

1.4 محولات التيار CT:

يقوم محول التيار CT بتخفيض قيمة التيار إلى قيم صغيرة تتناسب مع التيار الأصلي سواءً في المحول المستخدم في أجهزة القياس أو الحماية، وعادةً ما تكون هذه الأجهزة تغذى بتيار لا يتجاوز 5A. وذلك من خلال اختيار CT بنسبة تحويل Turns Ratio معينة، ومن أكثر هذه النسبة انتشاراً 100:5, 200:5, 500:5 لتصل إلى حدها الأعلى 3000:1 والفرق الرئيسي بين محول التيار CT وباقي أصناف المحولات الأخرى هو أن الملف الابتدائي له يوصل على التوالي في الدائرة المراد قياس شدة تيارها. كما هو موضح في الصورة (2– 1) والتي تبين الشكل الحقيقي لمحولات التيار.

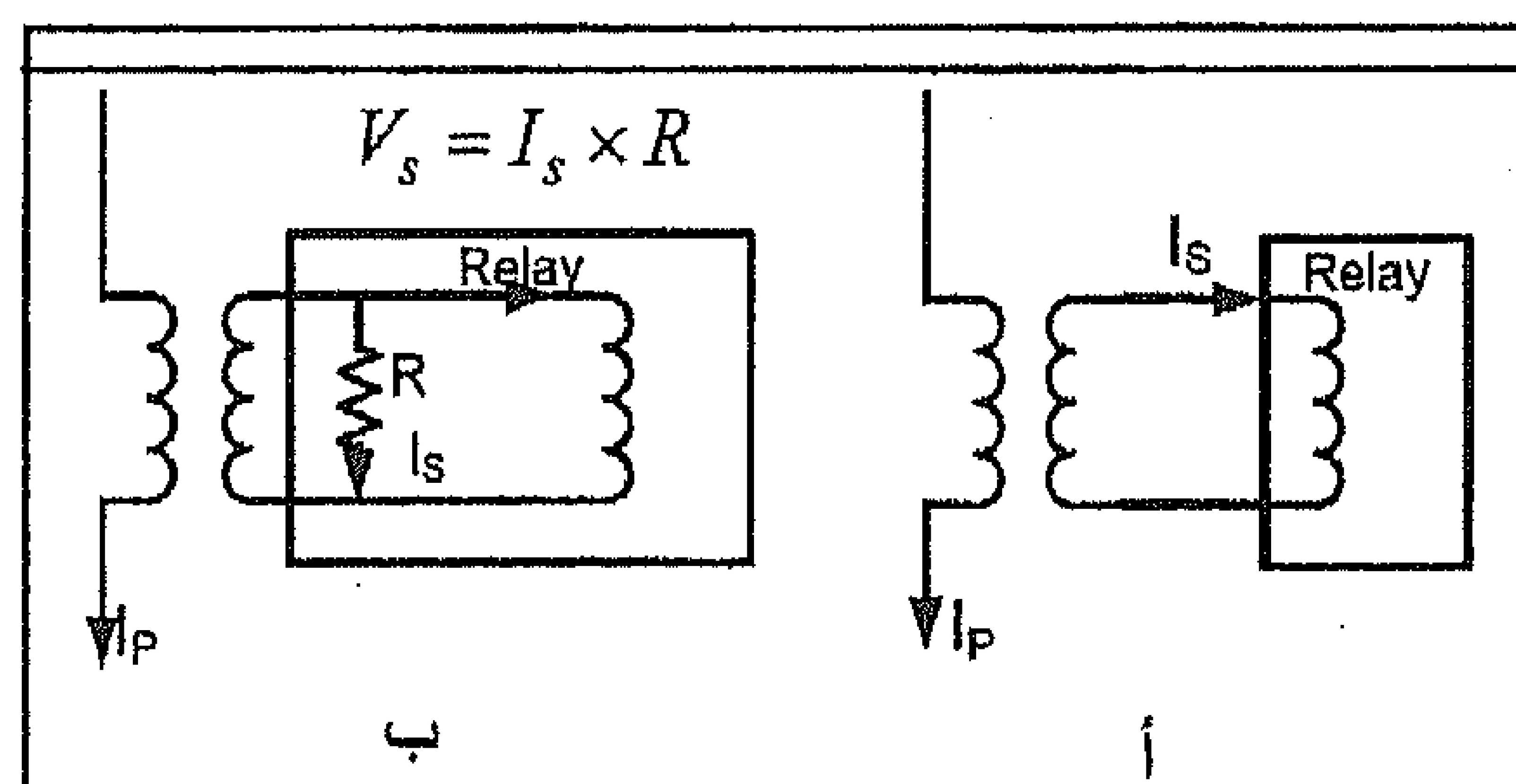


الصورة (2– 1) الشكل الحقيقي لمحولات التيار

1.4.1 محول التيار مع أجهزة الوقاية:

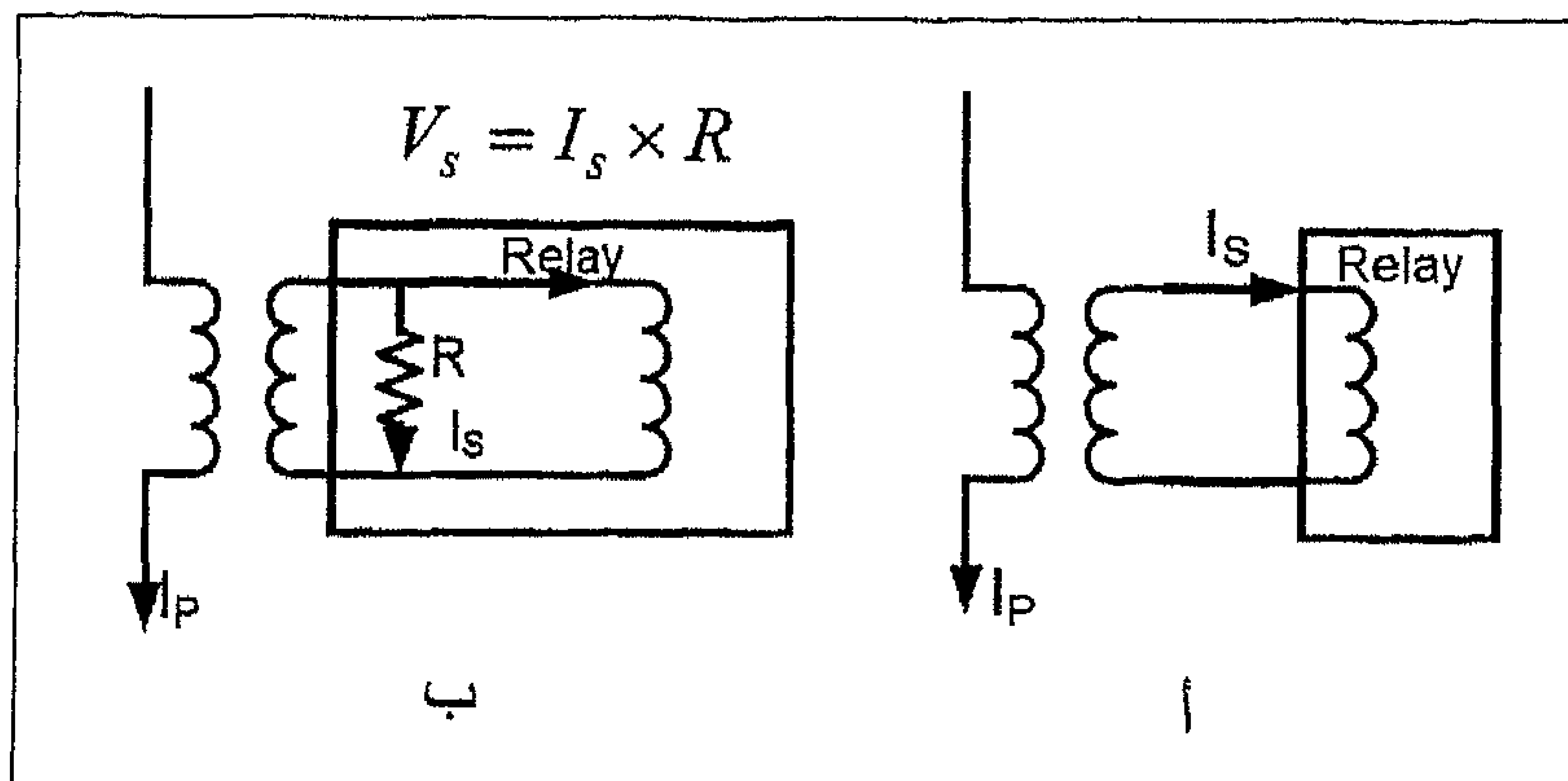
يتم توصيل محول التيار مع أجهزة الحماية والقياس من خلال طريقتين:

أ. وفي هذه الطريقة يتم ربط الـ Relay مباشرةً مع ملفات الثانوي كما هو موضح في الشكل (4 – 1).



الشكل (4 – 1) توصيل الجهاز مع الملفات الثانوية

ب. التوصيل مع ملفات الثانوي من خلال مقاومة صغيرة، وعادةً ما تستخدم هذه الطريقة مع أجهزة الحماية الرقمية والتي تحتاج تحويل التيار إلى جهد تمهيداً لتحويله إلى Digital Numbers بواسطة A/D convertor، وهذه الطريقة للتوصيل مبينة في الشكل (5 – 1)، علماً بأن قيمة المقاومة المستخدمة لا يتجاوز 0.5 أوم.



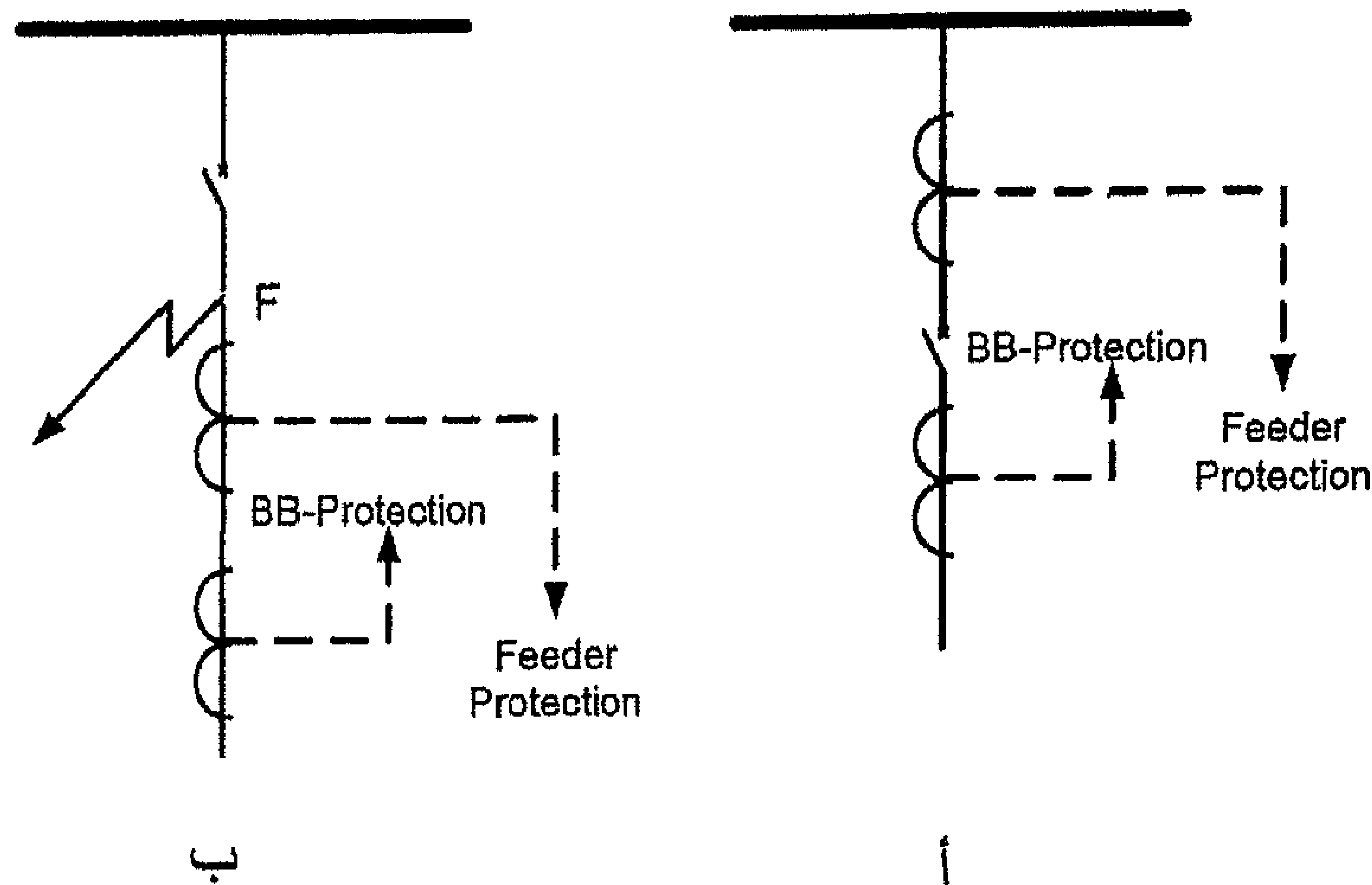
الشكل (5 – 1) توصيل جهة الثانوي من خلال مقاومة

1.4.2 مكان تركيب محول التيار:

وبالنسبة لمكان توصيل الـ CT في الشبكة ففي الغالب بالنسبة للخطوط على سبيل المثال يتم توصيل الـ CT الخاص بوقاية الخطوط بين الـ BB وبين الـ CB كما في الشكل (6 – 1) أ، بينما يتم تركيب الـ CT الخاص بالـ BB protection بعد الـ CB. وهذا الترتيب يؤمن أعلى درجة من درجات الـ Overlap بين مناطق الحماية المختلفة. بمعنى أنه لا توجد في ظل هذا الترتيب أي نقطة غير محمية في هذه المنطقة.

لاحظ أنه في حالة وضع كلا الـ CTs في جهة واحدة من القاطع كما في الشكل (6 – 1) ب فإن عطلاً عند النقطة F سيكتشف بواسطة الـ BB Protection رغم أنه ليس على الـ BB. وهذه ليست المشكلة الوحيدة، ولكن المشكلة الأكبر أن العطل سيظل موجوداً حتى بعد فتح الـ CB حتى سيتم تغذيته من الجهة الأخرى.

لاحظ أيضاً أن هذا العطل يعتبر خارج منطقة حماية الخط بسبب الوضع الخاطئ لمحولات التيار الخاصة بالخط.



الشكل (6 – 1)

1.4.3 نظرية محول التيار Theory of CT:

يتم ربط محول التيار في الدائرة المراد حمايتها على التوالي أي أن طرفي الملف الابتدائي توصل داخل الدائرة في حين يتم توصيل جهاز الحماية أو القياس مع طرفي الملف الثانوي للمحول.

وكما نعلم جميعاً بأن تيار الثانوي يعتمد على نسبة التحويل للمحول، أي أن:

$$I_P = I_s * \frac{N_S}{N_P}$$

$$= I_s * K$$

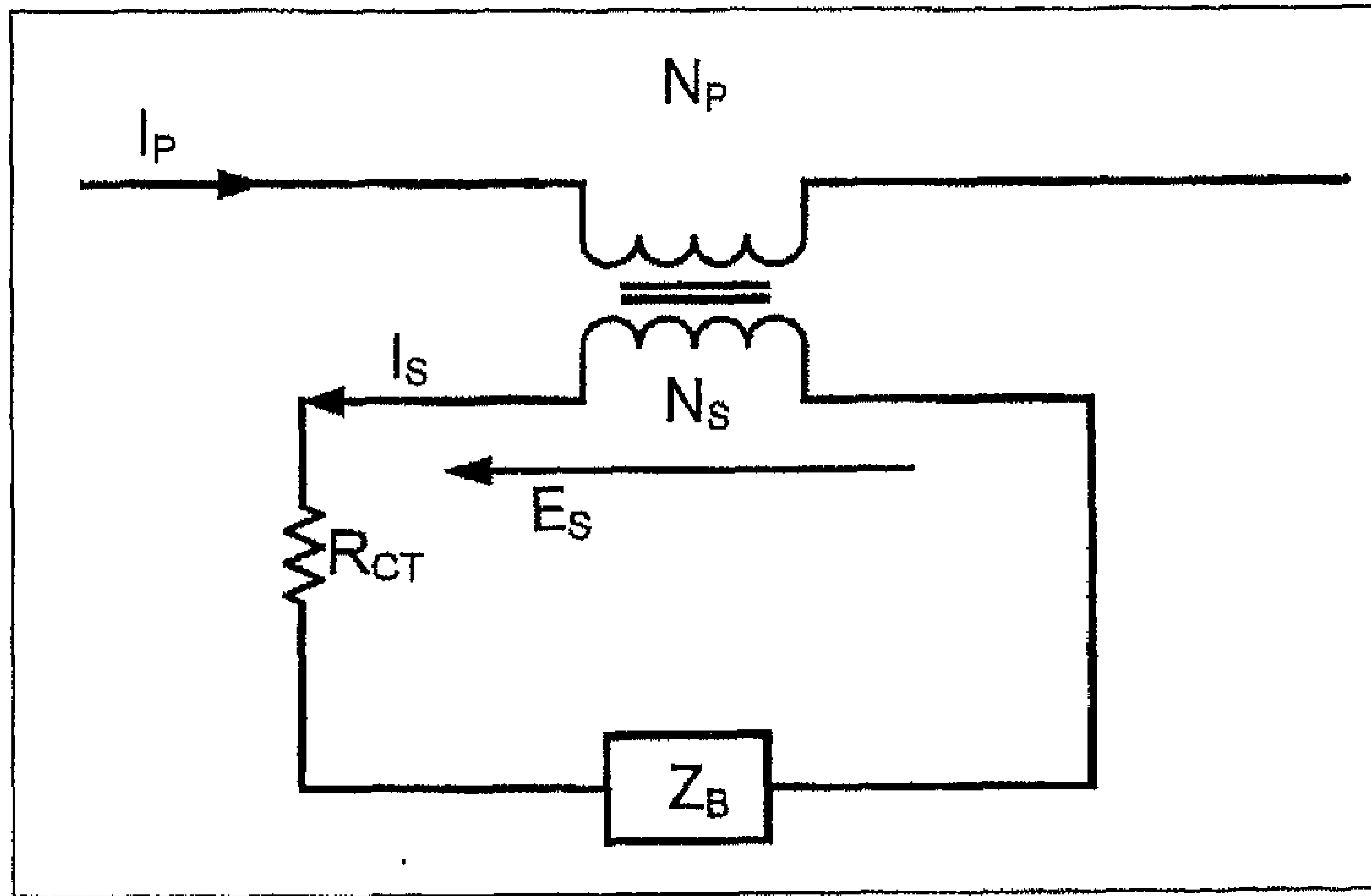
حيث أن K هي Turns Ratio نسبة التحويل للمحول.

وعند توصيل محول تيار إلى جهاز الحماية أو القياس فإن له معاوقة Z_B، لذا سوف ينشأ عن مرور التيار في ملفات التيار الابتدائي فيضاً مغناطيسياً مما ينجم عنه ظهور EMF بين طرفي الثانوي ويرمز له E_s وهذا الجهد هو الذي

يتسبب في مرور تيار I_s، موضح في الشكل (7– 1)، وبالتالي سوف يظهر على طرفي جهاز الحماية/ القياس جهد مقداره $V_{O/P}$، وهذا الجهد يساوي:

$$V_{O/P} = I_s Z_B = E_s - I_s R_{CT}$$

حيث R_{CT} تمثل المقاومة المكافئة لأسلاك المحول.



الشكل (7– 1) الكميات الأساسية لمحول التيار

وهنا لا بد من ملاحظة بأن الجهد الناشئ بين طرفي الثانوي يتناسب طردياً مع معدل تغير الفيض، بمعنى أن:

$$E_s \, \alpha \, \frac{d\phi}{dt}$$

ولكي ينشأ E_s فإن مقدار الفيض يساوي:

$$\Phi = B * A$$

حيث أن:

A هي عبارة عن مساحة مقطع القلب الحديدي وتقاس بـ m^2.

B هي كثافة الفيض في القلب الحديدي وتقاس $Tesla = wb/m^2$.

وحسب النظرية العامة للمحولات فإن مقدار أقصى جهد E_k (Knee – Point Voltage) يساوي:

$$E_k = 4.44 * N * F * A * B_{max}$$

$$= 4.44 * N * F * \Phi$$

وتسمى هذه المعادلة أيضاً بالمعادلة العامة للمحول، حيث أن:

F هي عبارة عن مقدار التردد ويقاس بـ Hz.

N هي عبارة عن عدد اللفات.

ويتم استخدام هذه القيمة لمعرفة قيمة أقصى معاوقة Z_B يمكن توصيلها بين طرفي محول التيار CTs.

- **أمثلة محلولة:**

مثال (1): احسب أقصى مقاومة لجهاز حماية مع محول تيار بالمواصفات التالية:

CT Ratio 2000/5

$R_{CT+L} = 0.31\ \Omega$

$I_{Pri-max} = 40$ KA

$B_{max} = 1.6$ Tesla

Core CSA = 20 cm^2

الحل:

$$N = 2000/5 = 400$$

$$I_{sec-max} = 40,000/400 = 100A$$

من المعادلة $(1-2)$ فإن:

$$E_K = 4.44 * N * F * A * B_{max}$$

$$E_K = 4.44 * 400 * 50 * 20 * 10^{-4} * 1.6 = 284 \text{ Volts}$$

ومن قيمتي الجهد الأقصى والتيار الأقصى يمكن معرفة أقصى حمل Burden توصل بين طرفي محول التيار وتساوي:

$$R_{max} = 284\text{-}100 = 2.84\ \Omega$$

وبما أن مقاومة محول التيار ومقاومة أسلاك التوصيل المستخدمة 0.31 Ω فإن أقصى مقاومة مقاومة للجهاز الذي سوف يوصل مع المحول تساوي:

$$Z_B = 2.84 - 0.31$$

$$= 2.53\ \Omega$$

1.4.4 منحنى المغناطيسية لمحول التيار CTs:

من المعروف أن لكل CT منحنى مغناطيسية خاص به يوضح العلاقة بين الفولت الذي ينشأ في الملف الثانوي والتيار المسبب للفيض، وهو التيار المعروف بـ I_e Excitation Current. وهذا التيار يمثل جزء صغير من التيار المتولد في الجانب الثانوي، وهو يسحب داخل المعاوقة الداخلية لمحول التيار Z_e التي تظهر ضمن الدائرة المكافئة لمحول التيار في الشكل. لاحظ أن جهاز الحماية/القياس الموصل مع جهة الثانوي يستهلك الجزء الأكبر من تيار الثانوي.

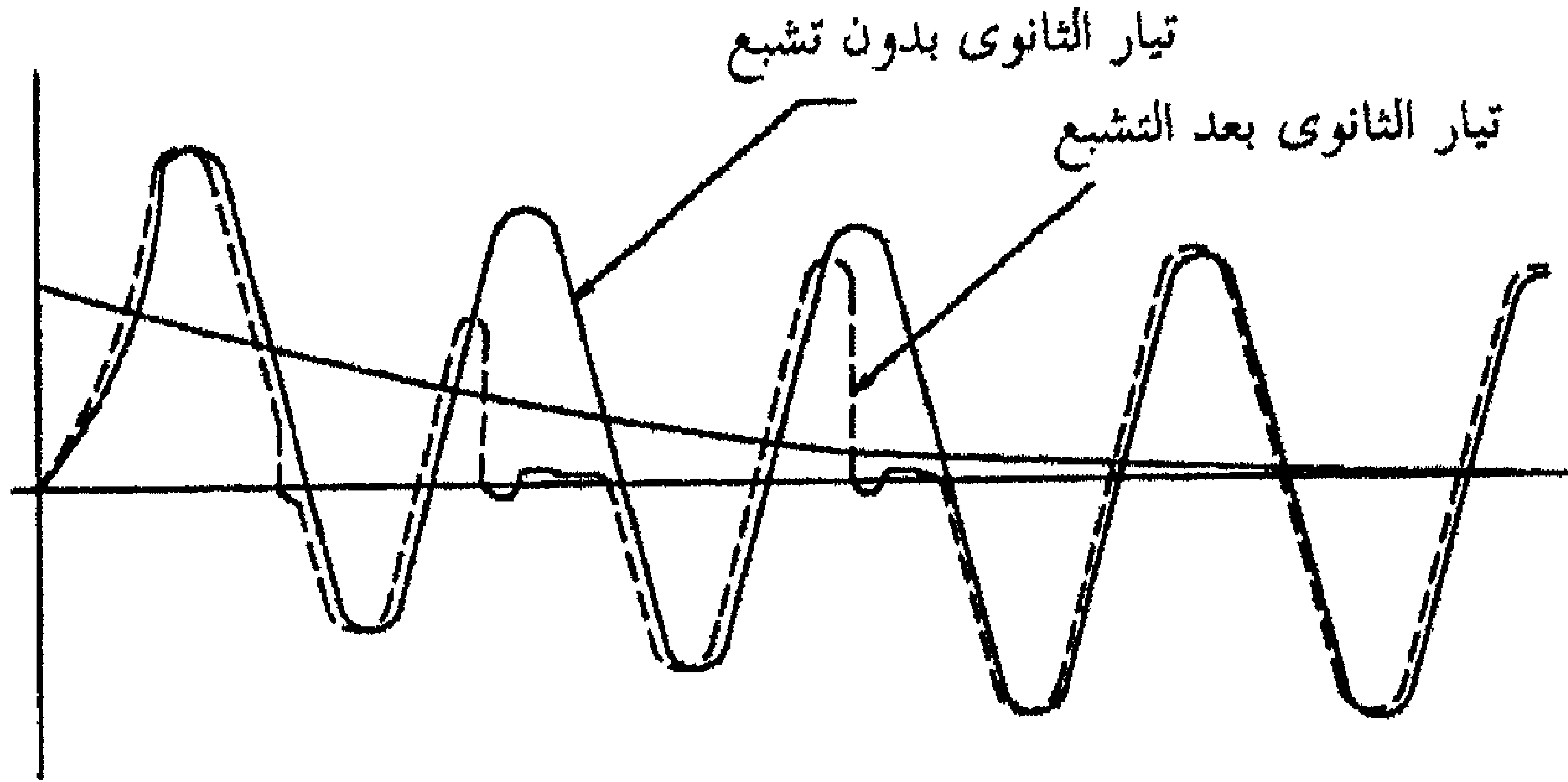
1.4.5 التشبع المغناطيسي:

معلوم أن التيار الكهربي المتردد مصاحب دائماً بفيض مغناطيسي متردد يتناسب طردياً معه، وبالتالي كلما زاد التيار زاد الفيض، ومشكلة التشبع تحدث مع الزيادة الكبيرة في قيمة التيار (عند حدوث العطل)، حيث يتسبب ذلك في نشوء فيض عالي جداً لا يستطيع القلب الحديدي تحمله فيحدث له ما يسمى التشبع (Saturation).

والقلب الحديدي في هذه الحالة يشبه طريق كبير يمر فيه عدد من السيارات، لكن الطريق له قدرة استيعابية محددة فإذا زاد عدد السيارات به فإن المرور حتماً سيتوقف ونقول أنم الطريق قد تشبع، وهذا تماماً ما يحدث في القلب الحديدي حيث يتسبب التشبع في توقف زيادة الفيض العالي، وبالتالي تثبت قيمة الفيض على قيمة معينة ثابتة (حد التشبع)، بمعنى أن "معدل التغير" في الفيض اصبح صغيراً (تذكر أن التيار يتناسب طردياً مع معدل تغير الفيض $\frac{d\emptyset}{dt}$)، وبالتالي لا ينشأ أي تيار في الملف الثانوي (يصل تقريباً إلى الصفر). وشكل هذا التيار يظهر بصورة واضحة في الشكل.

لاحظ أيضاً في الشكل ذلك النقصل التدريجي في مركبة DC Component وهي أحد العوامل الأساسية في تشوق قيمة تيار الثانوي مقارنة بتيار الابتدائي، وتتوقف قيمتها على لحظة القفل وعلى قيمة R,X للدائرة، بينما تتوقف مدة بقائها على قيمة الـ R, X فقط.

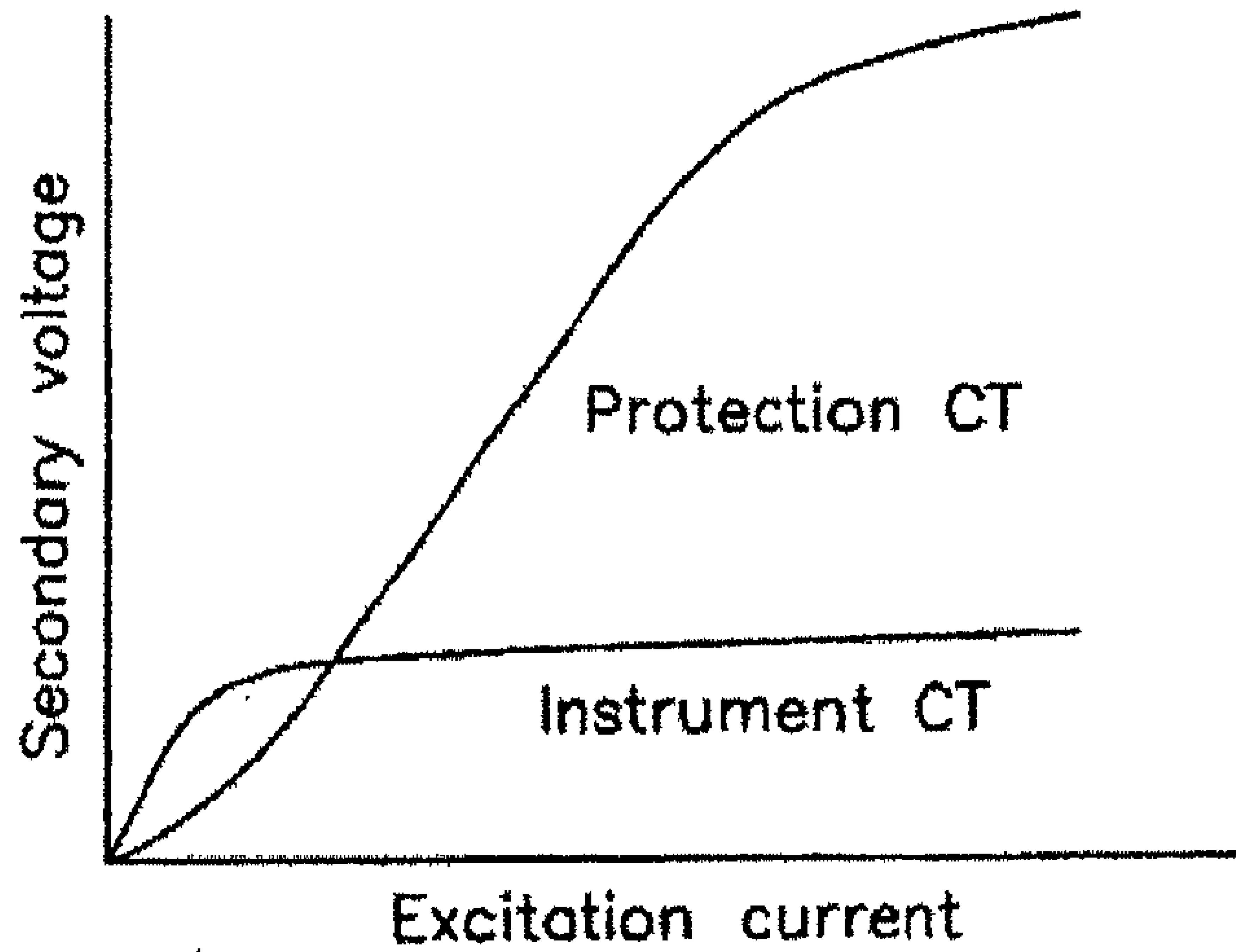
لاحظ أيضاً أن الاختلاف في القيمة ليس بسبب Turns Ratio فحسب، وإنما أيضاً بسبب Saturation كذلك، ولذا نقول أن التيار قد حدث له تشوه (Distorion)، وبالتالي لا نتوقع أداءً سليماً لجهاز الحماية مهما كانت دقته مالم يتم حل هذه المشكلة.



الشكل (10– 1) تيار الثانوي في حالة التشبع وعدم التشبع

1.4.6 استخدام CTs محولات التيار:

كما نعلم جيداً يتم استخدام CTs في أجهزة الحماية Protection CT، وأيضاً مع أجهزة القياس والتحكم Instrument CT لذا لا بد لنا التمييز بين صفات CTs الحماية وCTs القياس والتحكن، ويمكن تلخيص تلك الفروق هو أن CTs المستخدمة مع أجهزة الحماية تتميز بالعمل بدقة في مدى واسع للتيارات والسبب يعود إلى أن تيارات الأعطال متغيرة القيمة في مدى واسع، على العكس من CTs المستخدمة مع أجهزة القياس حيث يكون لها مدى محدود للدقة المطلوبة. والشكل (11– 1) يبين كلاً من جهد الثانوي في محولات التيار المستخدمة مع أجهزة الحماية وأجهزة القياس.



الشكل (11– 1) مقارنة جهد الثانوي في CTs مع أجهزة الحماية والقياس

ويجدر الإشارة هنا بأن هنالك بعض أجهزة الحماية التي يتم فيها استخدام CT كمصدر إشارة للجهاز فقط، ونذكر من هذه الأجهزة:

1. Non Directional Over Current Protection O/C.
2. Non Directional Earth fault protection E/F.
3. Differential Protection.

ويوجد أيضاً أنواع أخرى من أجهزة الحماية والتي تستخدم VT مع CT كمصدر للمعلومات، ومن هذه الأجهزة نذكر:

1. Directional Earth Fault.
2. Distance Protection.

ونذكر هنا بعض أنواع أجهزة القياس التي تستخدم CT معها:

1. جهاز قياس الطاقة الفعالة KWH.
2. جهاز قياس الطاقة الغير فعالة (المفاعلة) KVAR.
3. جهاز قياس القدرة الفعالة والغير فعالة KW, KVAR.

1.4.7 مواصفات محول التيار CTs:

إن من أهم المواصفات التي يجب معرفتها بدقة مع محول التيار هي:

- الحمل Rated Burden، والقيم التالية تعتبر من أشهر القيم المستخدمة: (2.5, 5.0, 7.5, 10, 15, 30 VA).
- أقصى تيار يتحمله Continous Rated Current وغالباً يشار إلى أقصى تيار في الجانب الابتدائي.
- أقصى تيار في مدة وجيزة Short circuit current and duration time وغالباً يشار إلى تيار الثانوي، وغالباً تكون المدة المحسوب عليها أقصى تيار تتراوح بين نصف ثانية وثلاث ثوان.
- تيار الثانوي Rated، وغالباً يكون 1 أو 2 أو 5 أمبير. وغالباً إذا زادت المسافة بين محول التيار وبين جهاز الحماية عن 30 متر فإننا نستخدم تياراً ثانوياً يساوي 1 A.
- نسبة التحويل وأقصاها عملياً هي 3000/1 وبالطبع هناك قيم أصغر من ذلك.
- الـ Class، وكما ذكرنا في حالة محولات الجهد فإن Class تعتبر من أهم وأشهر القيم التي يوصف بها المحول.

ومن أشهر الـ Classes المستخدمة في الوقاية فقط 5P, 10P بالإضافة إلى Class X الذي يستخدم غالباً مع أجهزة الوقاية التفاضلية وذلك طبقاً للمواصفات البريطانية BS. وغالباً يستخدم Class 5P مع Instantenous OC Relays بينما يستخدم Class 10P مع أجهزة الـ Overcurrent من النوع المعروف بـ IDMT، وكلاهما سنتعرض له بالتفصيل في الفصل الثالث. بمعنى أنه كلما كانت الدقة المطلوبة عالية كلما تميزت الـ Class المستخدمة برقم أصغر. أما التطبيقات التي لا تحتاج لدقة عالية فيكتفى فيها بـ Class–X. وClass تعرف باسم آخر ALF وهو Accuracy Limit Factor وهو يعرف أيضاً بأنه

Sataration Factor وتكمن أهمية هذه القيمة أنها تعطينا تصوراً عن أقصى تيار يمر في الابتدائي قبل أن يصل القلب إلى التشبع وتتشوه تيار الثانوي.

وعلى سبيل المثال لو أن CT له نسبة تحويل 200/1 وكانت قيمة ALF = 10 إن أقصى تيار جهة الابتدائي يمكن أن يمر دون حدوث تشوه في جهة الثانوي يساوي 2000A = 10 * 200.

ومن الصيغ الضروري جداً معرفتها والتي تعتمد على ALF والتي تحدد قيمة أقصى جهد ينشأ بين طرفي CT بدلالة ALF:

$$V_K = \frac{\text{rated VA}}{I_n} * ALF + I_n * R_{CT} * ALF$$

ومن خلال المعادلة يمكننا معرفة V_K وهي قيمة ليس بسهولة يمكننا تحديدها ومن هنا ظهرت أهمية هذه المعادلة التقريبية.

والمواصفات التي تكون مكتوبة على CT على صورة رموز كالتالي على سبيل المثال: 100/1 ,5P10 إن هذه المعلومة تشير بأن دقة القياس 5٪ ويحافظ على هذه الدقة في مدى وقدرة 10 أضعاف تياره الطبيعي والذي يساوي A 1 جهة الثانوي أي أنه يعادل KA 1 جهة الابتدائي.

1.4.8 اختبارات CTs:

هنالك ثلاثة اختبارات رئيسية يتم إجراؤها قبل استخدام CT وتعرف بـ Commisining Tests وهي:

أ. اختبار القطبية.

ب. اختبار المنحنى المغناطيسي للمحول Magnitization Curve.

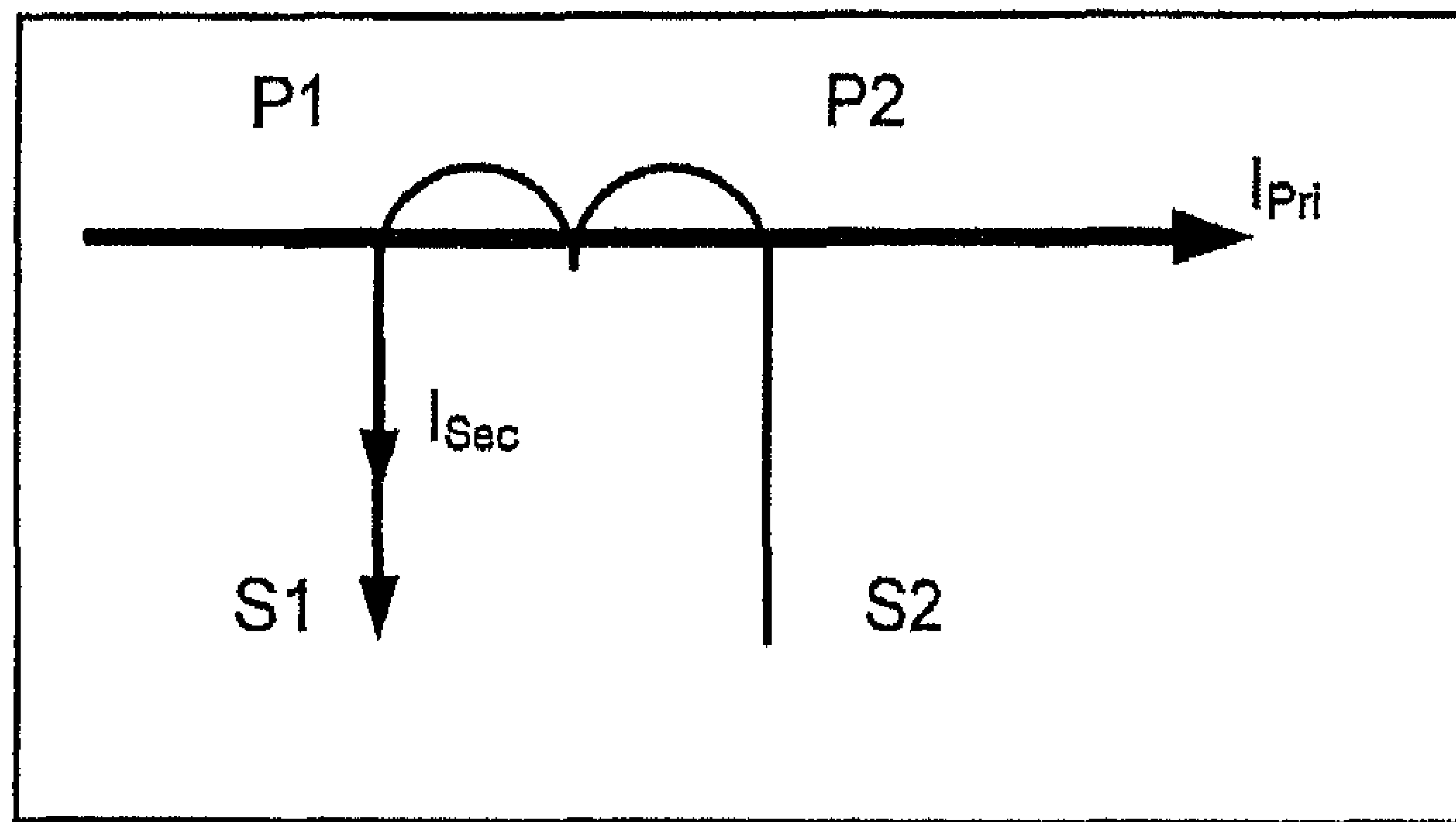
ج. اختبار نسبة التحويل Turns Ratio.

1.4.9 اختبار نسبة التحويل:

يعتبر هذا الاختبار من أسهل الاختبارات الثلاثة حيث نقوم بتوصيل المحول ويقاس الجهد الناتج عند الجانب الآخر ويتم التأكد بذلك من دقة التحويل.

أ. اختبار القطبية:

والغرض من هذا الاختبار تحديد اتجاه التيار في ملفات الثانوي، والقاعدة العامة تقوم أن تيار الثانوي يسري (من S_1 إلى S_2 في الدائرة الخارجية) حيث يكون في نفس اتجاه تيار الابتدائي المار من P_1 إلى P_2 كما في الشكل (12– 1). وهنا لاحظ بأن التيار في الملف الثانوي يسير في عكس اتجاه الابتدائي.

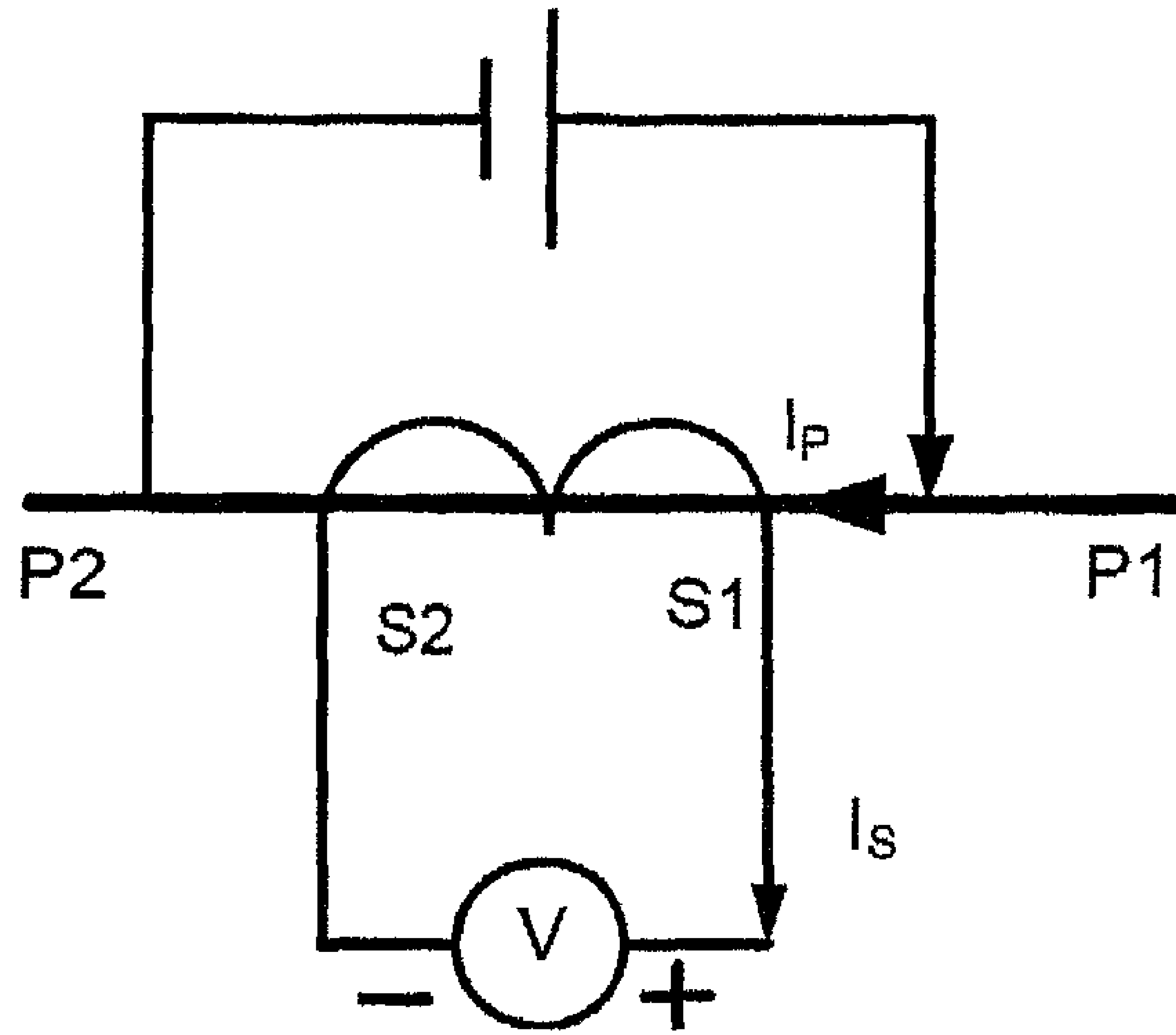


شكل (12 – 1) تحديد اتجاه التيار مقارنة بالتيار الأصلي

وللتأكد من القطبية قبل التوصل يمكننا إجراء اختبار بسيط والمعروف باسم Flicker Test حيث يوصل فوليتر بين طرف الثانوي يسير في عكس اتجاه الابتدائي.

وللتأكد من القطبية قبل التوصل يمكننا إجراء اختبار بسيط والمعروف باسم Flicker Test حيث يوصل فوليتير بين طرف الثانوي بينما توصل بطارية ذات جهد 6 فولت على أطراف الابتدائي كما هو موضح في الشكل (13– 1) حيث

ينحرف مؤشر الفوليتير إلى الجهة الموجبة، وعند فصل البطارية ينعكس المؤشر إلى الجهة الأخرى، عندها تكون S_1 هي الطرف الموصل إلى موجب الفوليتير.



شكل (13– 1) اختبار Flicker

ب. اختبار Saturation Test:

وتحتاج لإجراء هذا الاختبار إلى جهاز جهد متغير Variac مع أجهزة لقياس التيار والجهد. ويتم تغذية أطراف الجانب الثانوي بالجهد المتغير مع الـ Variac مع قياس التيار الذي ينشأ في الجانب الثانوي علماً بأن الجانب الابتدائي يظل مفتوحاً بدون أي حمل أثناء الاختبار.

ويبدأ الاختبار بزيادة تدريجية للجهد حتى نصل إلى نقطة عندها تتسبب أي زيادة طفيفة في الجهد في زيادة ضخمة في التيار، وهي نقطة الانقلاب التي تحدثنا عنها، وعندئذٍ يبدأ تسجيل القراءات: حيث نبدأ في خفض قيمة الجهد تدريجياً وتسجيل قيم التيار المقابلة لكل قيمة من قيم الجهد. مع التأكد من وصول الجهد إلى صفر في النهاية للتأكد من حدوث Demagnetization للقلب.

1.4.10 كيفية اختبار CT:

توجد طرق عدة لاختبار CT مناسب لاستخدامه مع أجهزة حماية معينة، ومن تلك الطرق الطريقة التي تعتمد على مقارنة V_K وهي أقصى قيمة تنشأ بين طرفي المحول، وقيمة $V_K > V_S$ فهذا يعني أن هذا المحول مناسب لهذا Relay، والمثال التالي يوضح ذلك.

مثال: اختبر مدى مناسبة استخدام OC Relay له مقاومة قدرها 0.02 ohm ومتوقع أن يمر فيه تيار عطل قدره 7226 أمبير، وذلك مع محول تيار بالمواصفات التالية:

CTR = 1000/5, 7.5 VA, 10P20

$R_{CT} = 0.26\ \Omega$

$R_L = 0.15\ \Omega$

الحل:

$$V_s = I_{f-sec}(R_{CT} + R_L + R_r)$$

$$= 7226 * 5/1000 * (0.26 + 0.02 + 0.15) = 15.54 \text{ Volts}$$

$$V_k = \frac{\text{rated VA}}{I_n} * ALF + I_n * R_{CT} * ALF$$

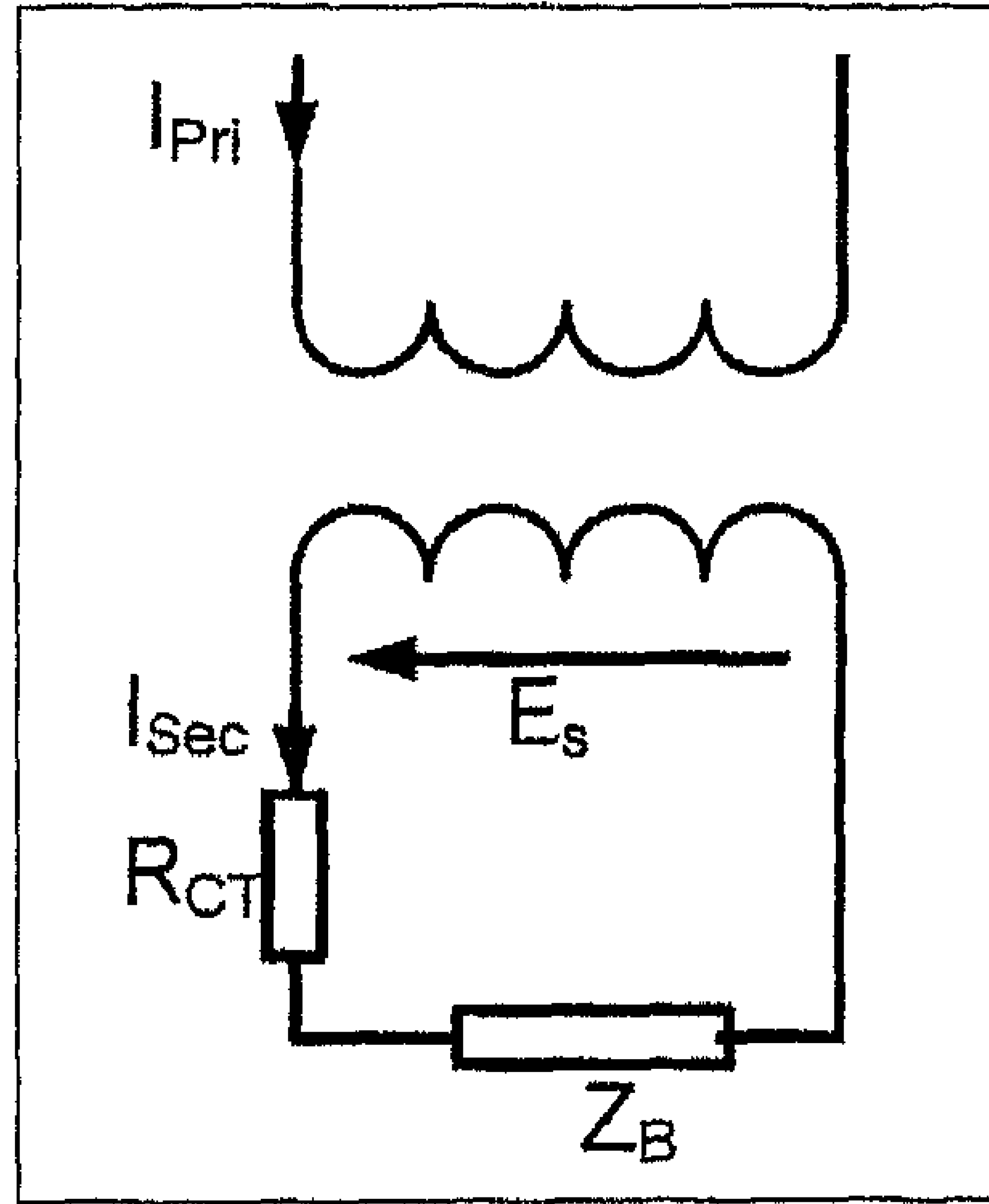
$$V_k = 7.5/5 * 20 + 5 * 0.26 * 20 = 56 \text{ Volts}$$

حيث $I_n = 5$ A.

وبما أن $V_s < V_k$ نستطيع أن نستخدم هذا Relay مع هذا CT.

ومن الطرف الأخرى نستخدم طريقة الثلاث خطوات، حيث نقوم بالتالي:

1. نحسب مقدار الجهد الذي ينشأ على الملف الثانوي (كما هو موضح في الشكل أدناه).



شكل (14– 1) الجهد الناشئ على الحمل الموصل بمحول التيار

$$E_s = I_{sec} (R_{CT} + Z_B)$$

حيث أن:

R_{CT} هي قيمة المقاومة للملف الثانوي نفسه.

Z_B هي معاوقة الحمل Burden وهي تساوي (معاوقة جهاز الحماية + معاوقة الأسلاك).

2. نستخدم هذه القيمة (Es) في الحصول على اقصى كثافة فيض Bmax يتحمله المحول، وذلك من المعادلة المعروفة:

$$E_s\ 4.44 * F * A * N * B_{max} * 10^{-8} \ldots\ldots\ldots\ldots. (5 - 1)$$

حيث A هي مساحة مقطع القلب الحديدي للمحول (in^2).

F التردد (50 Hz)

B_{max} كثافة الفيض $lines/in^2$

N نسبة التحويل truns Ratio

3. نقارن Bmax المحسوب في الخطوة السابقة بالرقم الذي يتحمله القلب الحديدي "حد التشبع" (غالباً 100,000Lines/in2) في أجهزة المحولات الحديثة، فإذا تعدت Bmax المحسوبة من معادلة رقم (1 – 5) هذا الرقم، فعندها يصبح هذا المحول غير مناسب للاستعمال مع أجهزة الوقاية، لأن الفيض المار به سيتعدى حد التشبع، وأما إذا كان أقل منه فيكون مؤشراً أن يصلح للاستخدام في هذه الحالة.

والمثال المرفق يوضح ذلك.

- مثال:

محول تيار له نسبة N = 2000:5 ومساحة مقطعه $A = 3.25\ in^2$، معاوقة ملفه الثانوي $0.31\ \Omega$، والحمل في الدائرة الخارجية له (Burden) يساوي 2Ω. المطلوب معرفة هل يصلح هذا المحول للاستخدام مع جهاز وقاية، علماً بأنه من المتوقع أن يمر بالدائرة في حالة العطل تيار تصل قيمته إلى 35,000 A مع تردد 50 Hz؟

الحل:

إذا صلح هذا المحول فهذا يعني أن التيار في ملفه الثانوي I_L سوف يساوي:

$$I_L = 35000 * \frac{5}{2000} = 87.5 \text{ A}$$

وهذا يعني أن الجهد الذي سيظهر على الملف الثانوي E_s سوف يساوي:

$$E_s = I_L(Z_B + Z_L) = 87.5\ (0.31 + 2) = 202.1 \text{ V}$$

وحسب المعادلة (1 – 5) فإن كثافة الفيض في القلب المعدني سوف تساوي:

$$B_{max} = \frac{E_S}{4.44\ F*A*N*\ 10^{-8}} = \frac{202.1}{4.44*50*3.25*\frac{2000}{5}*\ 10^{-8}} = 70{,}030 \text{ Lines/in}^2$$

وحيث أن هذه القيمة أقل من القيمة القياسية المتعارف عليها في محولات التيار المستخدمة في أجهزة الوقاية هي ($100{,}000 \text{ Lines/in}^2$)، وبالتالي فهو يصلح للاستخدام.

1.5 المرحلات المستخدمة مع محول التيار Overcurrent Relay:

1.5.1 تصنيف OC Relay:

تم شرح العديد من أنواع OC Relay في الجزء السابق، لكننا هنا سوف نقوم لدراسة هذه الأجهزة من ناحية أخرى ألا وهي الفترة الزمنية المطلوب فصل الدائرة المعطلة بعدها، وهل هي فترة ثابتة أم متغيرة؟ وهي هي فترة طويلة أم وجيزة؟ إن هذه الاعتبارات أنتجت في النهاية أنواع عديدة من Overcurrent Relay نذكر منها على سبيل المثال:

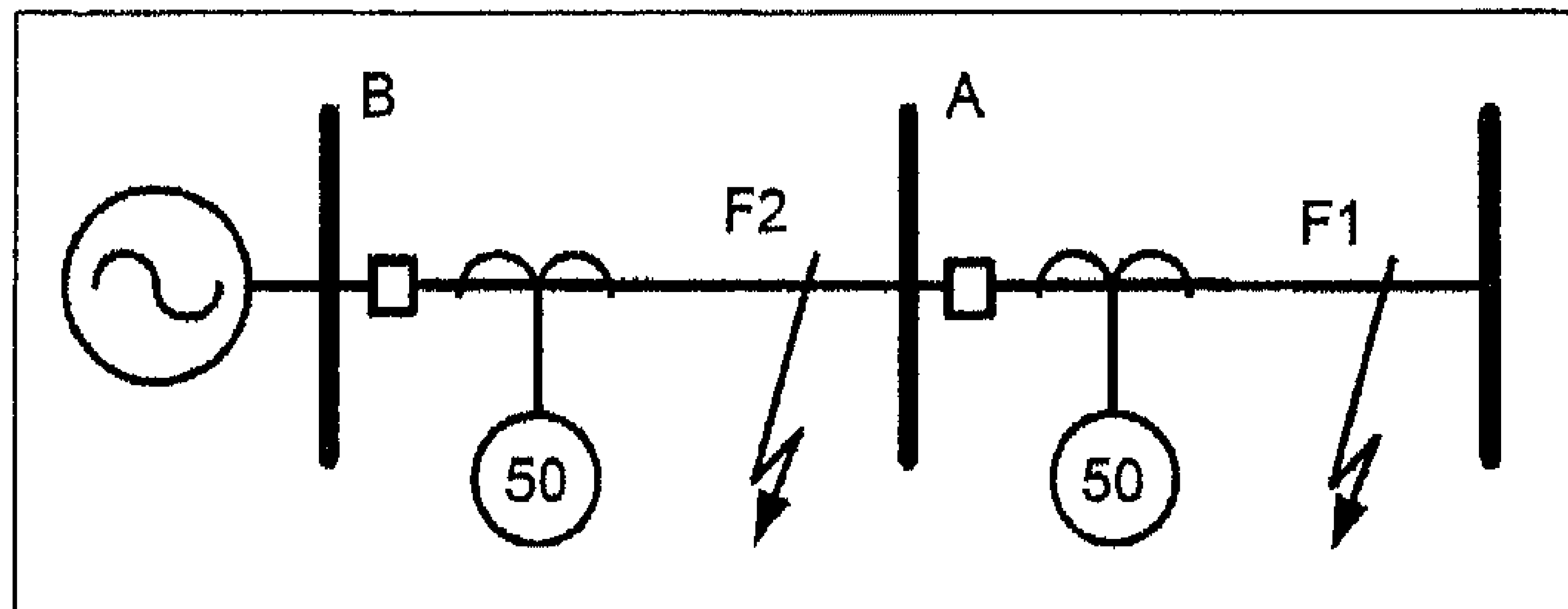
1. أجهزة تفصل لحظياً عند زيادة التيار عن القيمة المحددة Definit current Relay (رقم 1 شكل 14– 1).

2. أجهزة تفصل عند تجاوز التيار لقيمة معينة وزمن معين ويسمى: Definit Time Relay وهو موضح في (رقم 2 شكل 14– 1).



شكل (14 – 1) علاقة التيار بالزمن في أجهزة OC Relay

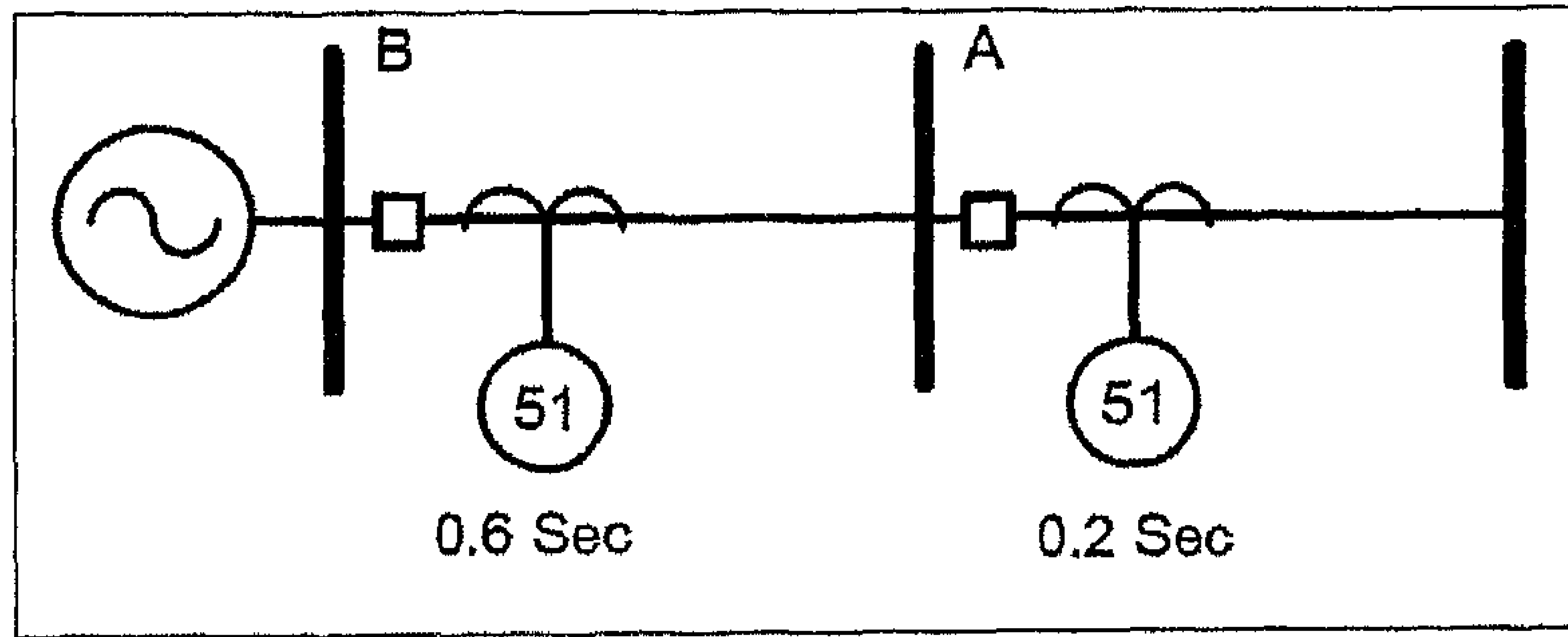
1. والنوع الأول مناسب لفصل الأعطال ذات التيارات العالية التي لا تتحمل الانتظار، ومن مساوئ هذا النوع أنه في أحيان كثيرة عند وجود خطين قصيرين في الطول ومتتاليين فإنه يصعب عمل تنسيق بين أجهزة الحماية من هذا النوع لأن مقدار الفرق بين تيار العطل على كلا الخطين لا يكون كبيراً كما هو الحال في الشكل (15– 1) عند النقطتين F1, F2.



شكل (15 – 1) صعوبة تمييز العطل عند F1 وF2

2. أما النوع الثاني (Difinit Relay) فيستخدم للأعطال الأقل خطورة حيث أنه يقوم بالفصل بعد مرور مدة زمنية معينة، وبالتالي فإن هذا النوع من OC Relay يستطيع تجنب الأعطال العابرة. فهي بذلك تقوم بالفصل عند الأعطال الدائمة Permenent Fault فقط.

ويستخدم هذا النوع عندما تكون Z_{source} أكبر من Z_{line} وهذا يعني أنه تغلب على مشكلة النوع الأول من OC Relay ولكن لهذا النوع عيوب أيضاً، ألا وهي أن التنسيق يكون صعباً بين أجهزة الوقاية من هذا النوع على الخطوط المتتالية، حيث أن زمن الفصل أكبر ما يمكن في حالة الأعطال قرب المصدر كما هو في الشكل (16– 1) رغم أنها الأخطاء الأخطر والأعلى قيمة.

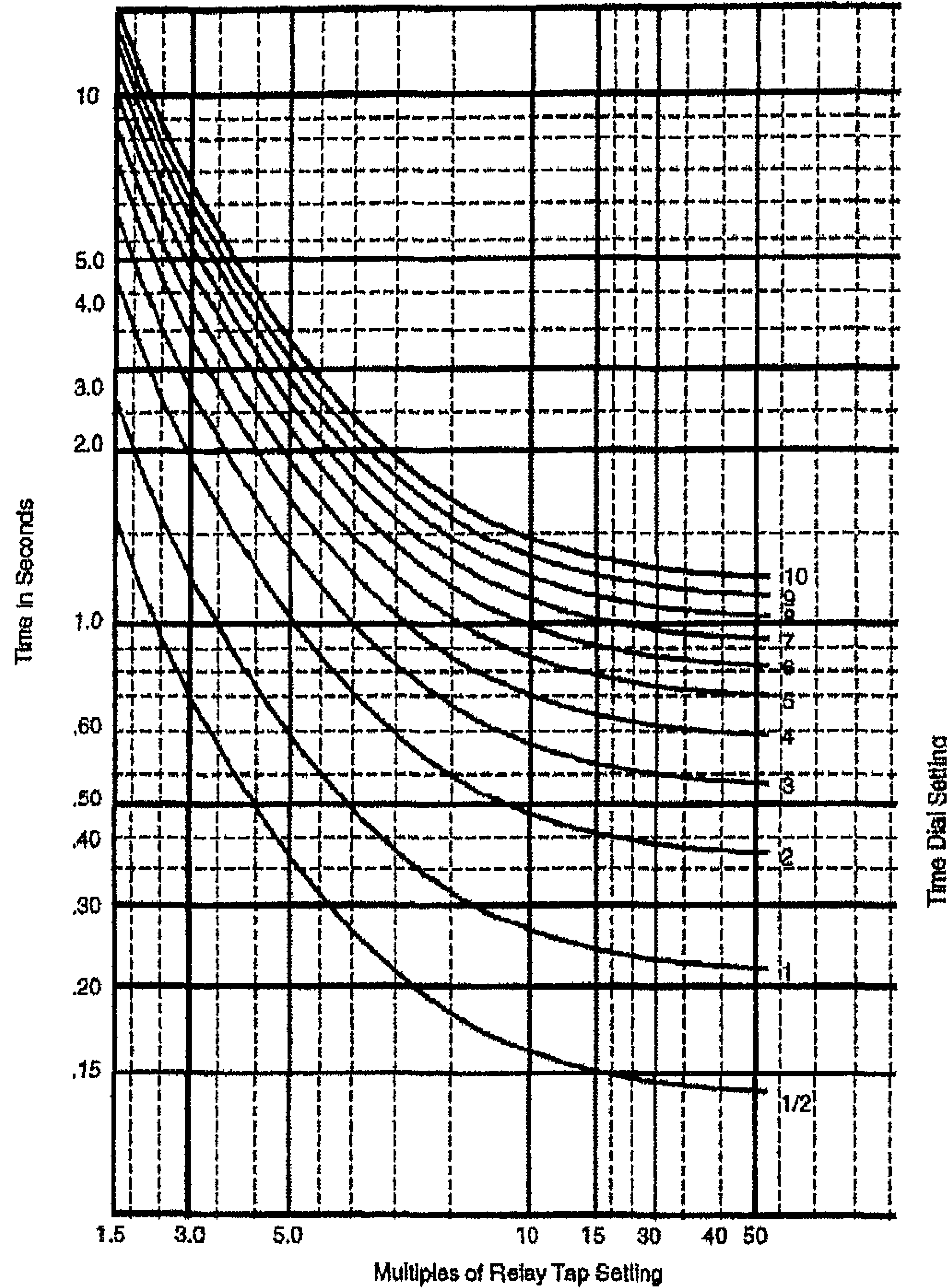


شكل (16– 1) زمن الفصل في الأجهزة

3. أما النوع الثالث والذي يعرف بـ Normal Inverse OC، وهو عبارة عن نوع يقوم بالجمع بين ميزات كلا النوعين السابقين، حيث يقوم بالفصل طبقاً لعلاقة عكسية بين تيار العطل وزمن العطل، ويتميز بأنه لا يتأثر بالأعطال العابرة، وفي الوقت نفسه يفصل بسرعة عند الأخطاء عالية التيار.

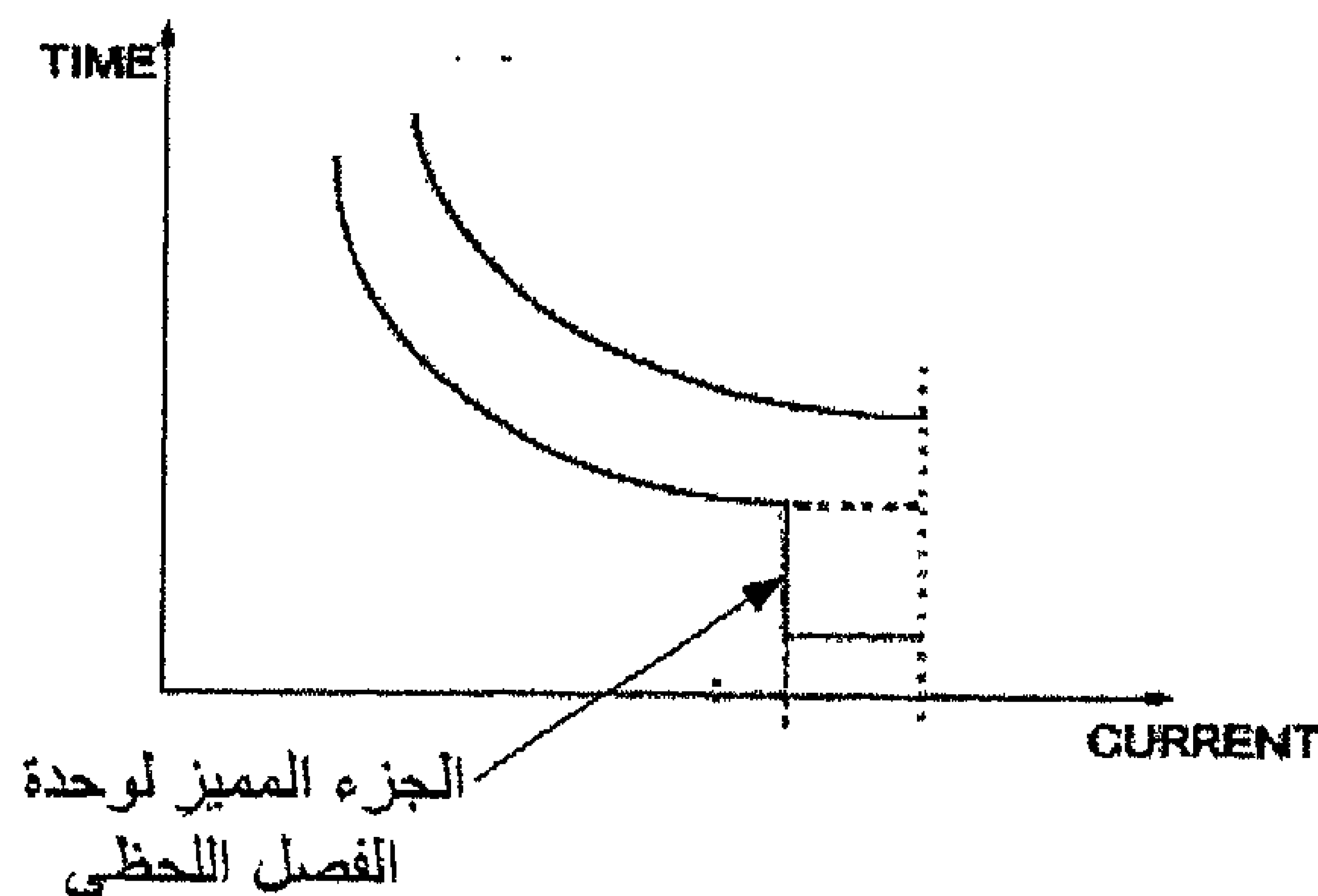
وهذا النوع من الأجهزة يكون عادةً مزوداً بمنحنيات ذات ميول متعددة لتناسب جميع الاستخدامات، وليعطي سرعات متنوعة لنفس قيمة التيار كما في الشكل (17– 1). ولكن هذه الأجهزة لا تصلح للاستخدام في الأنظمة ذات قدرة التوليد المتغيرة. وغالباً يستخدم هذا النوع عندما تكون Z_{source} أقل من Z_{line}،

بمعنى آخر عندما يكون الفرق بين مستوى Short Circuit في أول الخط وآخره كبيراً.



شكل (17 – 1) منحنيات Normal Inverse

وفي أغلب الأحيان يكون جهاز Overcurrent Relay مكوناً من وحدتين: الأولى من النوع Inverse OC بحيث تفصل بعد زمن تأثير معين طبقاً لمنحنى التشغيل المستخدم، والوحدة الثانية تكون من النوع Instantenous أي تفصل لحظياً بمجرد أن تزيد قيمة التيار عن Setting آخر عالي جداً كما في الشكل.



شكل (18 – 1) منحنى Inverse OC مع وحدة Instanentouse OC

وهذا كان يتم في الأجهزة القديمة (الأجهزة الالكتروميكانيكية)، أما الآن باستخدام الأجهزة الرقمية الحديثة فقد أصبح يتم داخل جهاز واحد، وبشكل أسهل بكثير من السابق، حيث يتم التحكم في تصرفات الجهاز من خلال تغيير المعادلة المستخدمة للتحكم في عمل الجهاز.

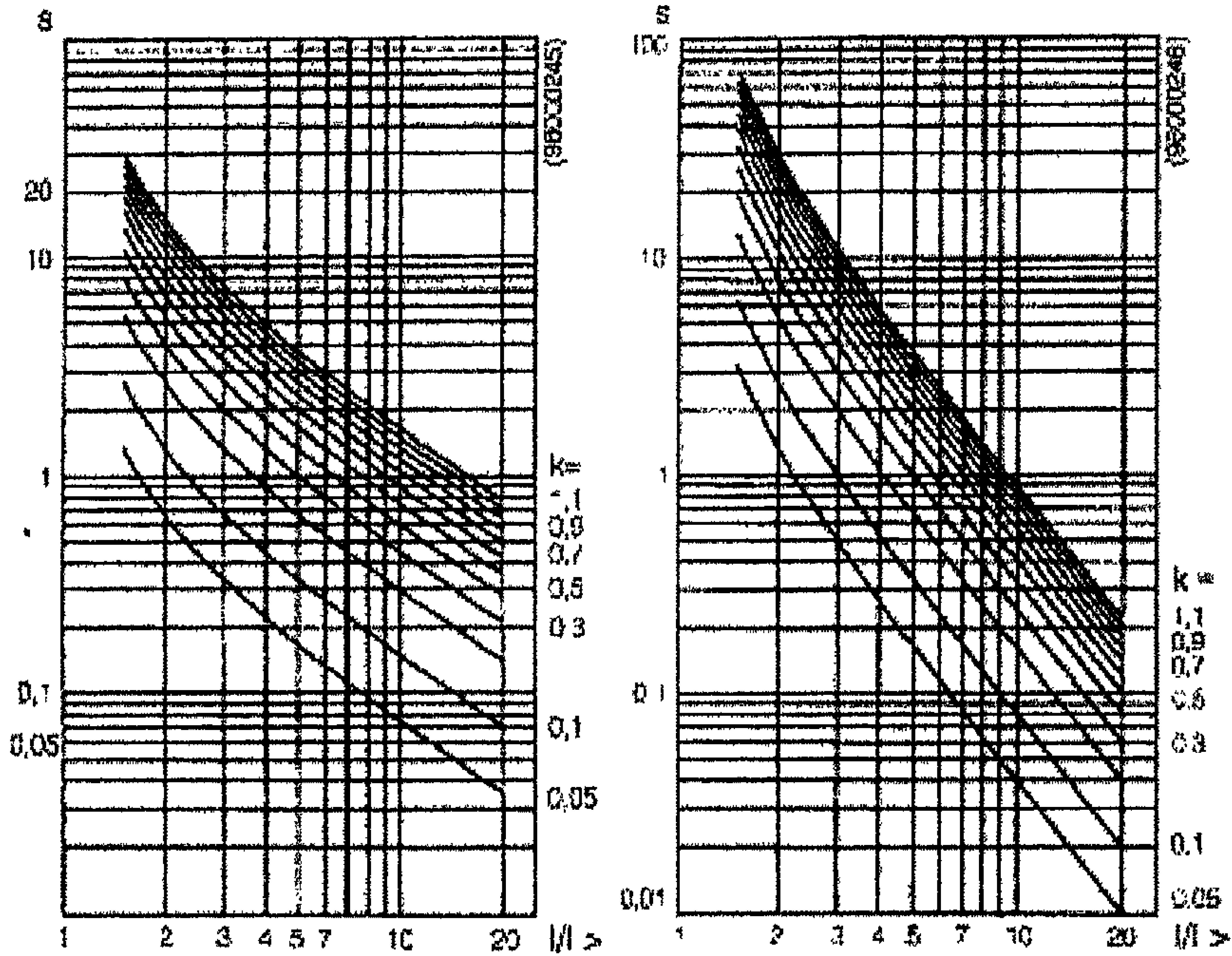
ويلحق بالـ Inverse Relay نوعين آخرين من نفس الفئة وهما:

1) أجهزة فصل لها منحنى ذات خصائص شديدة الانعكاس Very inverse characteristic ويمثله المنحنى الأيسر في الشكل (19– 1)، وهو يستخدم في الحالات التي يكون تغذية الخطوط من اتجاهات مختلفة، ومن مميزات هذه الأجهزة أن زمن عملها يتضاعف عندما يحدث نقص في التيار من سبعة إلى أربعة أضعاف الـ Setting المضبوط عليها الجهاز. ويؤدي هذا إلى إمكانية استخدام عدة Relays على التوالي وبنفس قيمة الـ Time multiplaier. الذي سنتعرف عليه بعد قليل.

2) أجهزة فصل لها منحنى ذات خصائص فائقة الانعكاس Extremely inverse characteristic ويمثله المنحنى الأيمن في الشكل (19–1)، وهو يستخدم في الحالات التي يتطلب فيه تنسيق أزمنة الفصل مع Fuse. وهذه الأجهزة

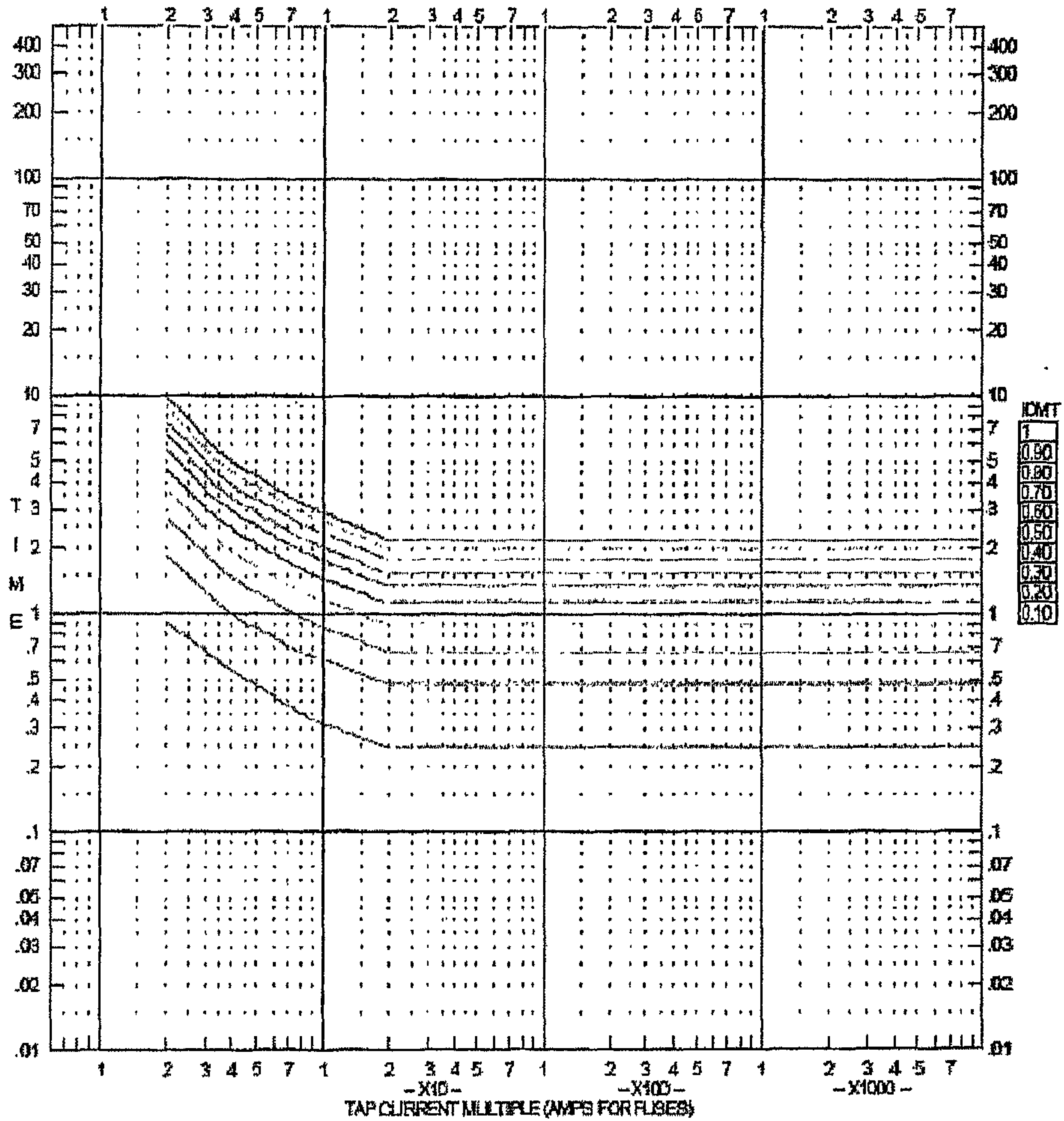
مصممة للاستخدام بشكل أساسي للمغذيات في شبكات التوزيع التي تتميز بأحمال ثابتة نسبياً.

وهذه الأجهزة تعتبر من الأجهزة المفضلة مع محولات القدرة والكابلات لحمايتها من زيادة الحرارة Over heating.



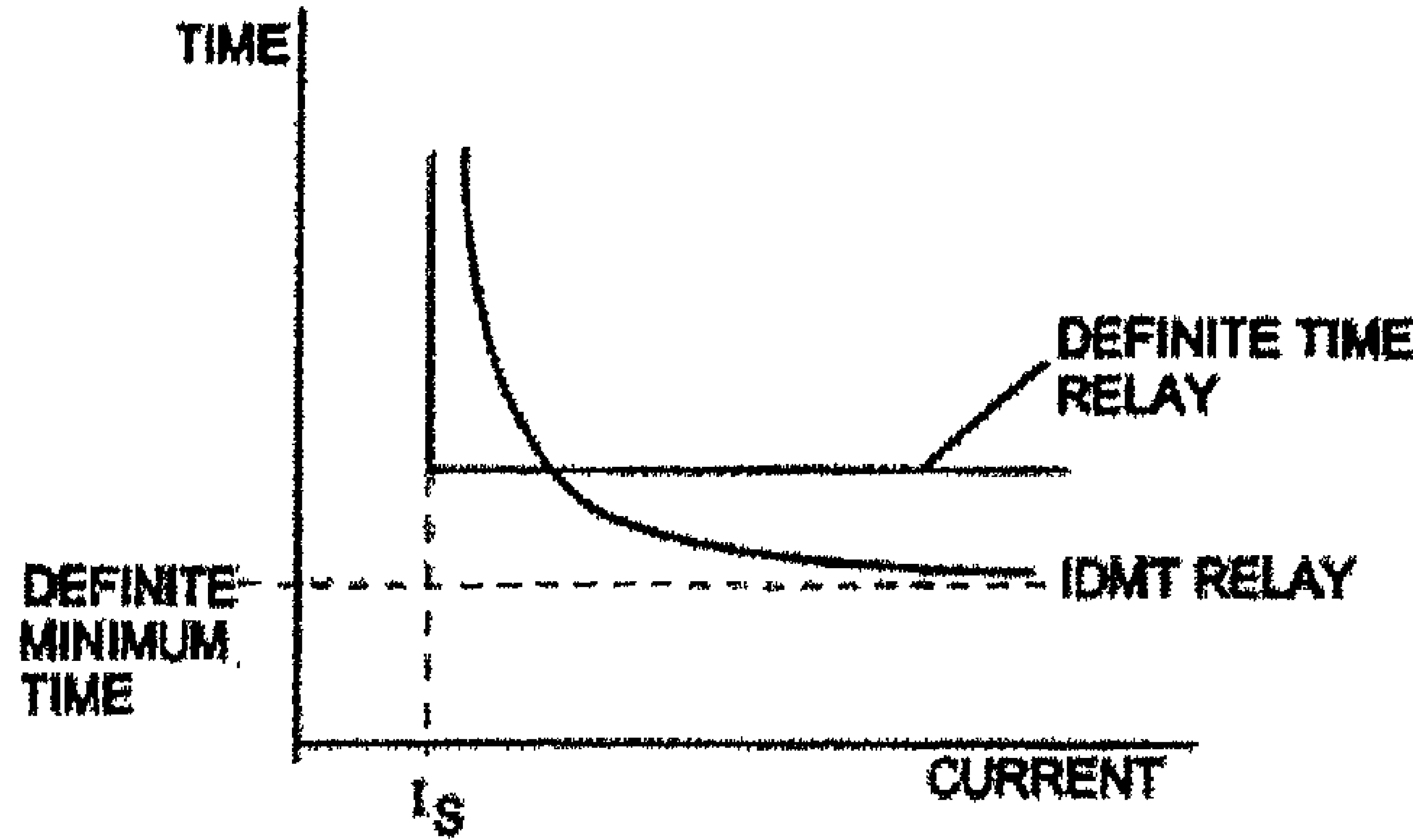
شكل (1 – 19) Very Inverse (left) & Extermely Inverse (Right)

4. وهناك أيضاً نوع رابع من أجهزة OC Relay ويسمى هذا النوع بـ Inverse Definite Minimum Time ويتميز بوجود جزء Inverse مع التيارات المنخفضة حتى حد معين ثم يلي ذلك جزء له زمن فصل ثابت لحظي Instantaneous (خط افقي) في حالة التيارات العالية. لذلك فهو Inverse + Definit Time في نفس الوقت. والشكل (20– 1) يعطي مثالاً على ذلك النوع.



شكل (20 – 1) منحنيات IDMT

والأنواع الأربعة السابق ذكرها يمكننا إضافة وحدة إضافية تسمى بالوحدة الاتجاهية Directional Unit، وإذا ما تم استخدام Directional OC فلا يكفي أن يزيد التيار عن قيمة الضبط Steeing وإنما يلزم كذلك أن يكون تيار العطل في اتجاه محدد وإلا فلن يعمل حتى لو كان التيار عالياً جداً. والشكل (21 – 1) يبين الفرق بن النوع الثاني والنوع الرابع.



شكل (1 – 21) مقارنة بين منحنى Dt Relay ومنحنى IDMT Relay

1.5.2 ضبط قيمة الحماية OC Relay Setting:

ضبط الجهاز هو عبارة عن اختيار نوع العلاقة بين زمن الفصل وقيمة تيار العطل، بمعنى تحديد القيم التي يفصل عندها الجهاز، وتحديد زمن التشغيل عند هذه القيم. وفي الأجزاء التالي سنقدم شرحاً لطريقة ضبط أكثر الأجهزة انتشاراً في حمالة الشبكات الكهربائية ألا وهما: الـ Inverse وكذلك Instantenous، وعموماً لضبط أي جهاز OC فإن هنالك ثلاث خطوات متتالية لا بد من القيام بها، وهي:

1. اختيار محول تيار مناسب.
2. اختيار التيار الذي يبدأ عنده الجهاز في العمل Pickup.
3. اختيار مدة (زمن) الفصل المطلوب Time Dial Setting.

وسوف نقوم بتفصيل هذه الخطوات بفرض أننا نستخدم النوع الأول وهو: Inverse Over Current Relay.

أ. اختيار المحول المناسب:

وهنا لا بد من أن نذكر بأن جهاز الحماية يقع في الجانب الثانوي محول التيار، وبالتالي فالتيار المار به هو التيار الأصلي مقسوماً على نسبة التحويل Current Transformer Ratio (CTR) ويتم تحديد CTR المناسب من خلال عنصرين، هما:

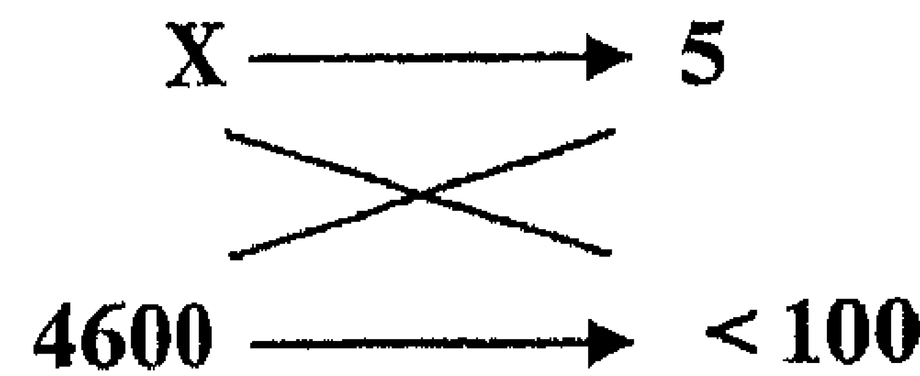
1. قيمة التيار الطبيعي (أقصى حمل Full Load Current).
2. قيمة تيار القصر المسبب لتشبع CT.

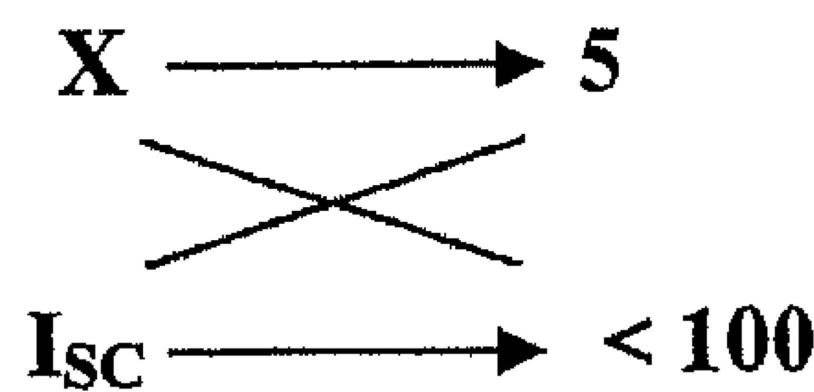
فبالنسبة للعنصر الأول فيحسن أن نختار CTR التي تنتج تياراً في الثانوي في حدود أقل من 1A أو 5A في حالة مرور التيار الطبيعي في الابتدائي.

وأما العنصر الثاني فيحسن أن نختار CTR بحيث أن أقصى تيار قصر يمر خلال المحول ينتج تياراً في الجانب الثانوي لا يسبب تشبعاً.

مثال (1):

لو فرضنا أن تيار القصر في دائرة مثلاً يساوي 4600 أمبير، وأن التيار الطبيعي لنفس الدائرة يساوي 130 أمبير، ولو فرضنا أن CT يتشبع إذا تعدى تيار الثانوي خلال 100 أمبير، فإن CTR (X:5) المناسبة تحسب كالآتي:





$$\therefore X \geq \frac{4600*5}{100} \geq 230$$

وبالتالي فإن CTR المناسبة هي 300:5، حيث 300 هي أقرب قيمة قياسية أعلى من 230. وفي هذه الحالة فإن هذا النسبة تنتج في الوضع الطبيعي تياراً يساوي:

$$\frac{130*5}{300} = 2.1\ A$$

أي في الحدود الطبيعية (أقل من 5 أمبير). كما أنها لن تسبب تشبعاً لأنها تنتج عند أقصى تيار قصر تياراً قيمته:

$$I_{SC} = \frac{4600*5}{300} = 75\ A$$

وبما أنه أقل من 100 A فهو مناسب.

ب. اختيار تيار البدء **Pickup Current**:

عند استخدام أجهزة حماية من النوع Inverse فيتم قياس تيار البدء (Pickup) بمضاعفات كمية تسمية بـ TAP، وهو يحدد القيمة التي يبدأ عندها الجهاز في العمل، وفي أجهزة الالكتروميكانيك القديمة من النوع Induction Disc كانت هذه الكمية تسمى بـ Plug Setting Multiplier PSM. وسنعتمد في هذا الكتاب التسمية الأولى فقط.

وعادةً يرمز للـ Pickup value عملياً بالرمز "$I_>$". وأصبح من المتعارف عليه أن تيار العطل دائماً يقاس بمضاعفات الـ TAP أو ما يسمى Multiple of TAP، بمعنى أننا نقوم مثلاً أن تيار العطل خمس أمثال الـ TAP أو ثلاثة أمثال الـ TAP، وهكذا، وهذا يفسر أن المحور الأفقي في الشكل (21– 5) لم يقاس بالأمبير، وإنما بمضاعفات TAP.

ونبدأ عملية حساب Setting بتحديد قيمة TAP كنسبة مئوية من تيار الثانوي بـ CT التي نريد ضبط الجهاز عليها، وعادةً ما يتم ضبط الجهاز على

100٪ من تيار الثانوي، وأحياناً يتم الضبط على نسب أقل كما هو الحال في EF Relay.

وتجدر الإشارة إلى أن جميع OC Relays تكون قيم الـ TAP الموجودة فيها في الغالب مقسمة إلى أجزاء من 50٪ إلى 200٪ من قيمة الـ Standard Input الخاص بالـ Relay. مع ملاحظة أن جهاز الوقاية يكون الـ Standard Input له إما 1A أو 5A. وبعض الشركات تسمي هذه القيمة I_s إشارةً إلى أنه تيار الـ Setting.

فإذا فرضنا أن لدينا OC Relay له Standard Input يساوي 1A، ففي هذه الحالة إذا ضبط الجهاز على 100٪ فإن $I_s = TAP = 1A$، أما إذا ضبط الجهاز على 75٪ فإن الـ TAP في هذه الحالة يساوي 0.75A، وبالمثل إذا ضبط على 150٪ فإن الـ TAP = 1.5A.

مثال (2):

احسب قيمة تيار العطل في حالة استخدام OC Relay مضبوط على 75٪، ومع استخدام CTR = 100/1 وذلك في حال مرور تيار عطل قدره 300 أمبير في الجانب الابتدائي للـ CT.

الحل:

بما أن الـ Relay قد ضبط على 75٪ فقط فهذا معنا أن:

$$TAP = 0.75 * 1A = 0.75A$$

وبما أن تيار العطل منسوباً للجانب الثانوي وطبقاً للـ CTR المعطاة يساوي:

$$300 * 1/100 = 3A$$

إذن فتيار العطل مقاساً بـ TAP يساوي:

3A/0.75A = 4 TAP

وهنا نلاحظ مرة أخرى أن وحدة القياس هي TAP وليس الأمبير.

ج. اختيار **Time Dial Setting, TDS**:

بعد أن قمنا بتحديد تيار العطل كمضاعفات من TAP فإنه يمكننا تحديد زمن الفصل لتيار معين، وذلك بتحديد منحنى التشغيل من المنحنيات التي وردت في شكل (21 – 1) وتسمي هذه العملية بعملية اختيار Time Dial Steeing.

والمثال التالي يبين لنا طريقة حساب زمن العطل من منحنى ما.

مثال (3):

من منحنيات Over Current الموجودة في شكل (21 – 1)، حساب زمن التشغيل عند حدوث عطل، متسبباً في مردود تيار قدره 12 A في Relay، علماً بأن Pickup للجهاز يساوي 4 A، ومنحنى الزمن المستخدم TDS هو المنحنى رقم (4) في الشكل (20 – 1).

الحل:

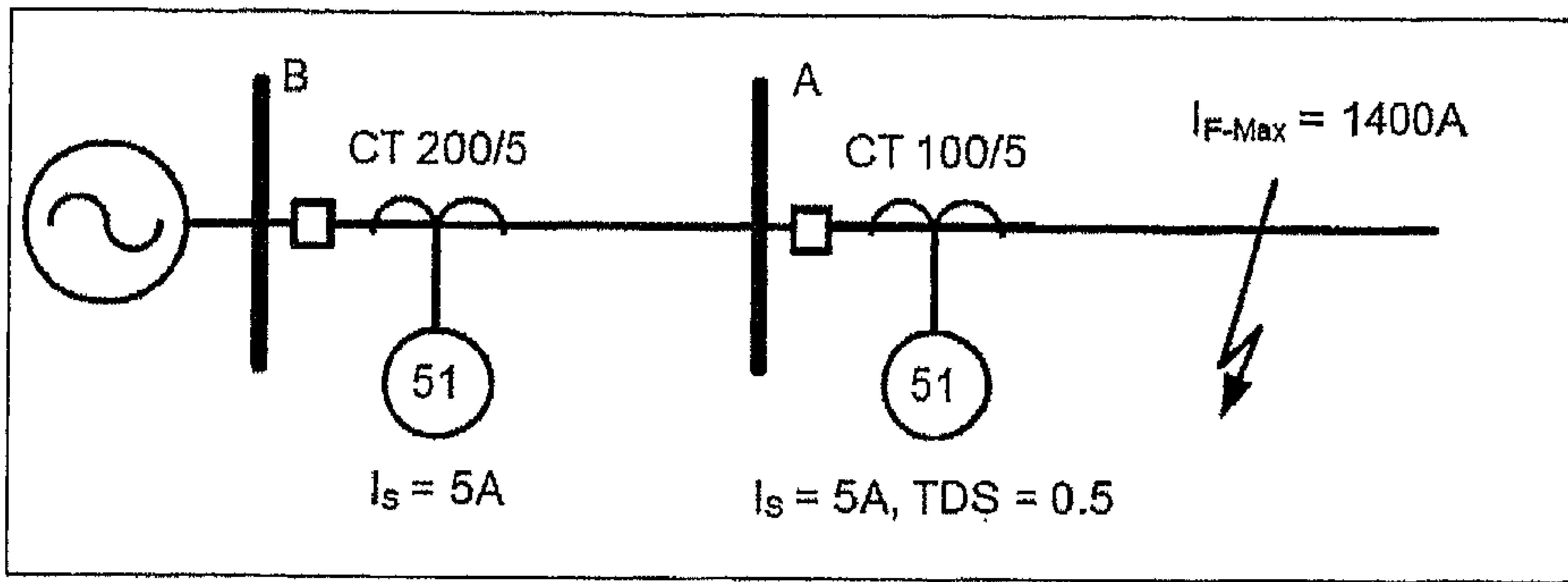
إن هذا المثال بسيط جداً لأنه قد حدد القيم المارة في الـ Relay مباشرةً، وما علينا الآن سوى تحديد قيمة تيار العطل كمضاعفات للـ TAP فيها يساوي:

I_f = ad a multiple of TAP $= \frac{12}{4} = 3$ TAP

ومن ثم من خلال الشكل (21 – 1) نقوم برسم خط رأسي عند TAP = 3 حتى يتقاطع مع المنحنى رقم 4 ثم نرسم خط أفقي لنجد أن زمن الفصل يساوي تقريباً 2.0 sec.

مثال (4):

احسب زمن الفصل لجهازي الحماية عند A وB في الشكل (22 – 1).



شكل (22 – 1) بيانات مثال 4

الحل:

بما أن قيمة TAP = 5 A، بالنسبة لـ Relay – A فإن تيار العطل يساوي:

$$I_F = \frac{1400}{100/5} \div 5 = 14\ \text{TAP}$$

وزمن الفصل المقابل لهذه القيمة حسب منحنيات الشكل (20 – 1) عند استخدام TMS = 0.5 يساوي تقريباً 0.15 sec.

أما بالنسبة لـ Relay – B فتيار العطل يساوي:

$$I_F = \frac{1400}{200/5} \div 5 = 7\ \text{TAP}$$

ومن منحنيات الشكل (20– 1) فإن زمن الفصل المقابل لهذه القيمة تساوي تقريباً 0.25 sec. وهذه النتيجة تعتبر غير جيدة لأن الزمن بينهما صغير وأقل من Coordination Time والذي تفترض أنه يساوي 0.3 sec والذي سوف نقوم بدراسته بشكل تفصيلي لاحقاً.

ولحل هذه المشكلة يلزمنا استخدام TMS أكبر وليكن المنحنى رقم 1 عندها سوف نحصل على زمن فصل يساوي 0.5 ثانية وهذا يعني بأنه منحنى مناسب.

كيفية اختيار المنحنى المناسب:

وحتى يتم اختيار الـ TDS بصورة صحيحة لا بد أن يؤخذ في الاعتبار قواعد التنسيق بين أجهزة الوقاية المختلفة، فلو فرضنا مثلاً، وطبقاً للشكل (22– 1) على سبيل المثال، فإن الجهاز A سيفصل العطل بعد زمن قدره 0.5 sec، فإننا نتوقع أن الجهاز عند B يجب أن يفصل نفس العطل (في حالة تعثر A لأي سبب من الأسباب) بعد زمن أطول. وفي أغلب الحالات يوضع فترة تمييز زمنية Time Gap بمعنى هامش زمني بين الجهازين في حدود 0.4 sec. وهذه الفترة الزمنية تتوقف على عدة عوامل أهمها زمن فصل القاطع، والخطأ في دقة القياس، ومعامل الأمان، وزمن الـ Reset.

والمعادلة التالية تبين هذه المعاملات:

$$\Delta \geq t_{CB} + t_{Reset} + t_{Inacc} + t_{M\,arg} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{–}2)$$

t_{CB} = Operating time for the circuit breaker = 40:100 msec.

t_{reset} = Reaset time for the relay = 40:70 msec.

t_{macc} = The sum of inaccuracy in time measurement

= 50:100 msec.

t_{marg} = Saftey margin

ومن خلال الخبرات العملية للمهندسين المختصين في هذا المجال وجد أن أنسب قيمة لتحقيق التناسق بين Relays تكون في حدود 300 – 400 ms.

نماذج عملية:

يتم عملياً حساب TAP بالاعتماد على نوع العنصر المراد حمايته، وتم إيجاد معادلة يمكننا من خلالها حساب TAP مع الإشارة هنا بأن هذه المعادلة مستنتجة من الخبرة العملية وليس لها إثبات رياضي.

1. تحديد قيمة تيار Pickup للحماية ضد زيادة التيار في خطوط النقل:

$$1.2 * \frac{I_{Load}}{K_r} \leq I_{>} \leq I_{SC\ min}$$

$I_{>}$ = Pick – up current

I_{load} = Maximum load current

K_r = Resetting ratio for the relay (Drop off/Pick up).

$I_{SC\ min}$ = The samallest fault current that must be detected by the relay

1.2 = Satety margins Between 1.2 & 0.7.

لاحظ أن الـ K_r يعبر عن النسبة المئوية التي يتحرر بعدها الـ Relay إذا انخفض التيار عن قيمة الـ Setting. على سبيل المثال لو أن Relay معين يحدث له Reset إذا انخفض التيار المار به إلى أقل من 0.95 من قيمة الـ Setting فعندها نقول أن K_r تساوي 0.95.

2. تحديد قيمة تيار Pickup عند حماية محولات القدرة:

ولتحديد قيمة تيار Pickup في أجهزة OC المستخدمة لحماية المحولات يتم استخدام المعادلة التالية:

$$I_{>} \geq 1.5 * \frac{I_n}{K_r}$$

$I_{>}$ = Pick – up current

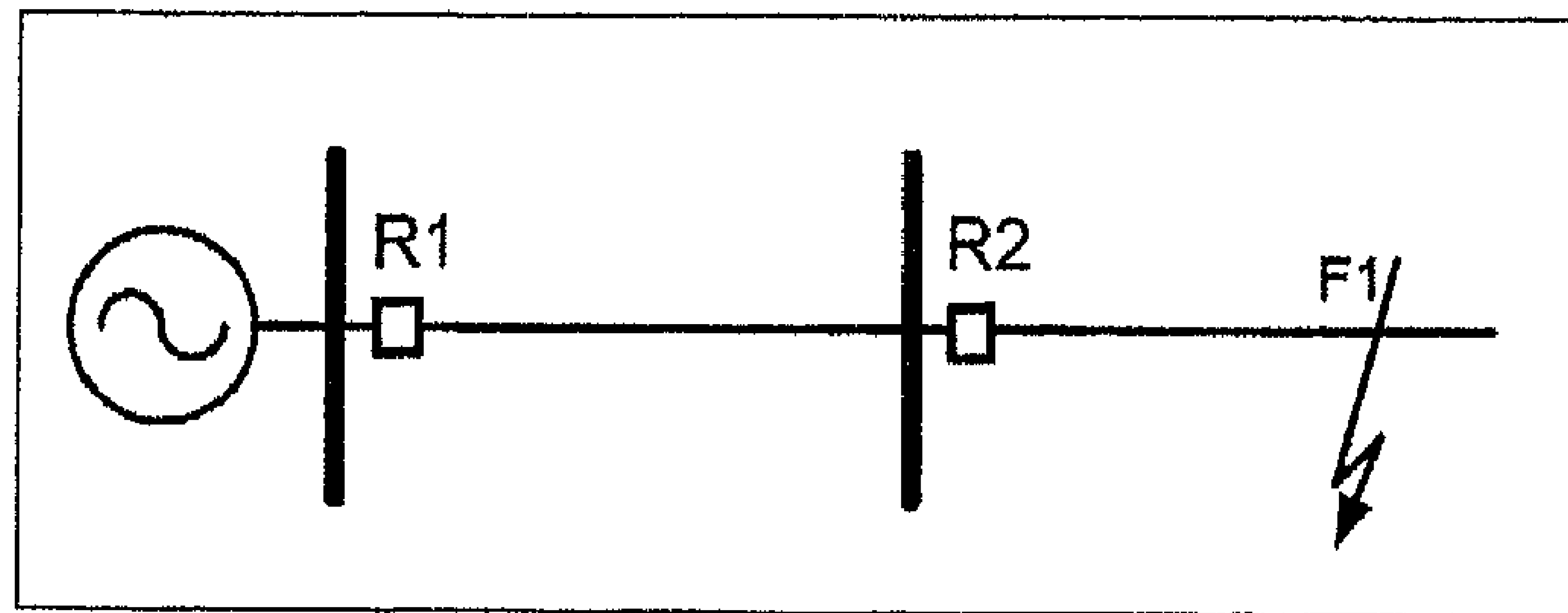
K_r = Resetting ratio for the relay (Drop off/Pick up).

I_n = Nominal current on the side of the transformer where the relay is installed

1.5 = Safety margins

مثال (5):

خط نقل كما هو موضح في شكل (23– 1) جهد 132 كيلو فولت وتيار الحمل المقنن فيه يساوي 600 أمبير (وهو نفس قيمة conductor rated current)، يتم حمايته باستخدام OC Relay له Standard Input يساوي 1A، ومحول تيار المستخدم نسبته 800:1 احسب قيمة الـ TAP لكلاً من جهازي الحماية: R1 & R2. علماً بأن أقل SC Current يساوي 8000 A.



شكل (23 – 1) بيانات المثال رقم 5

الحل:

حيث أن الخط مغذى من جهة واحدة فإن الـ TAP يكون موحداً للجهازين، لكنهما سيختلفا في منحنى التشغيل الذي يحدد زمن الفصل كما سيتبين بعد قليل. وبتطبيق المعادلة 2 – 1:

$$1.2 * \frac{I_{Load}}{K_r} \leq I_{>} \leq 0.7 * I_{SC\ min}$$

يمكننا حساب الـ Tap لـ R1 وR2.

$$1.2 * \frac{600}{0.98} \leq I_{>} \leq 0.7 * 8000$$

$$734.693 \leq I_{<} \leq 5600$$

في المعادلة السابقة قمنا بفرض قيمة تقريبية للـ Reset Factor بـ 0.98 وهي قيمة معقولة في حالة استخدام أجهزة الوقاية الرقمية الحديثة، ومن الحسابات السابقة يمكننا اختيار قيمة تيار Pickup بـ 800 امبير، وهي تعادل 100٪ من قيمة نسبة التحويل لمحول التيار، أي أن TAP = 1 A، وهذا يعني نظرياً أنه عند مرور تيار مقداره 1 أمبير في الملف الثانوي أو 800 امبير في الملف الابتدائي فإن جهاز الحماية سوف يعمل ويعطي أمر الفصل.

عادةً يتم استخدام المنحنى الذي يعطي أسرع زمن فصل للجهاز القريب من العطل وهو في المثال السابق R2. ومن المنحنيات الخاصة بـ Relays والمبينة في الشكل (20– 1) سوف نختار المنحني الذي يعطينا أسرع زمن وهو TMS = 0.5. ولمعرفة أزمنة الفصل على هذا المنحنى نجد أنه إذا وصل تيار القصر إلى قيمة 8 KA (ما يساوي عشرة أضعاف TAP) نجد أن زمن الفصل سوف يصل إلى 0.16 sec.

ولاختيار منحنى مناسب للـ Relay R1 فإنه يجب اختيار منحنى يقوم بعزل العطل بعد زمن إضافي في حدود 400 مللي ثانية. وبالرجوع إلى المنحنيات نجد أنه في حالة اختيار TMS هو المنحنى 2 فسيكون زمن فصل الجهاز R1 عند تيار عطل يساوي 8000 أمبير هو 0.5 ثانية. وفي هذه الحالة سوف يكونم هامش الزمن بينه وبين Relay R2 يقدر بحوالي 350 مللي ثانية، أما إذا تم اختيار TMS = 3 فسوف يكون هامش الزمن حوالي 450 مللي ثانية، وهنا سيكون أمامنا اختياران، والأفضل أن نختار المنحنى الذي يعطي زمن فصل أسرع للمحافظة على العنصر المراد حمايته، وبالتالي سوف نختار المنحنى الأول الذي له TMS = 2.

1.5.3 كيفية ضبط Instantenuos Relays:

كما سبق وذكرنا هذه النوعية من OC مناسبة للحماية من الأخطاء ذات التيار العالي، وذلك لأنها تقوم بالفصل لحظياً بمجرد أن يتعدى تيار العطل قيمة محددة سلفاً للجهاز.

ولا بد لنا من مراعاة بعض الاعتبارات عند ضبط هذه الأجهزة، وأهم هذه الاعتبارات:

أ. إذا تم استخدام الجهاز لحماية خطوط متتابعة كما في الشكل (23- 1) فإن Instantenous nuit عند محطة ما يجب ضبط قيمة Pickup فيها بحيث تفصل عند قيمة أعلى 1.20 من أقصى تيار عطل متماثل Current Symmetrical r.m.s fault عند المحطة التالية. ويرمز لقيمة Pickup عملياً في هذه الحالة بالرمز <<I. وهذه النسبة الـ 20٪ فقد تم اختيارها لتجنب أن يفصل الجهاز R1 مثلاً لحظياً بسبب عطل أمام R2. والسبب في اختيار تلك النسبة هو أنه يحمل أن هنالك احتمالات للخطأ في تحديد قيمة التيار، وذلك ناجم عن أجهزة CT وغيرها.

وفي حالة حماية محولات القوى Power Transformer من جهة الابتدائي نزيد هذه النسبة لتصل إلى 50٪ حتى نتجنب الفصل الخاطئ نتيجة أخطاء في الجانب الثانوي، لأن نسيان الخطأ في هذه الحالة يضاف إليها عنصر جديد وهي تيار الندفاع في المحولات Transformer Inrush Current وبالتالي يتم رفع نسبة الخطأ المحتمل إلى 50٪ بدلاً من 20٪.

1.5.4 التعامل مع ظاهرة Cooled Inrush:

عند انقطاع التغذية الكهربائية عن مدينة ما فإن الناس في الغالب يتركون معظم الأجهزة الكهربية كالإنارة والثلاجات والمكيفات دون غلق سهواً. فإذا افترضنا أن 50٪ من أجهزة التكييف لم يتم فصلها بعد انقطاع التيار، فهذا معنا أنه عند رجوع التيار فإن هذه الأجهزة ستبدأ في العمل متزامنة في لحظة واحدة، وهذا معناه أن تيار البدء العالي Starting Current الذي يسحب في مثل هذه الأجهزة سيتم سحبه من كل الأجهزة في نفس اللحظة، مما يعني أن تياراً عالياً جداً سوف يمر في المغذيات.

ورغم أن هذا التيار العالي سرعان ما سينخفض بصورة طبيعية خلال ثواني لأنه يمثل في معظمه تيارات البدء Starting Currents إلا أن بعض Overcurrent Relays قد تتأثر بهذا التيار العالي فتعتبره Fault Current وبالتالي يتم فصل المغذيات مرة أخرى. ومن هنا جاءت هذه التسمية لأن تيار الـ Inrush يحدث عند بدء التشغيل بعد توقف طويل تكون قد "بردت" فيه المحولات فسمي Cooled Inrush.

ولحل هذه المشكلة فإنه يمكن أن يتم تشغيل OC Relay على منحنى له زمن فصل طويل نسبياً مثل المنحنى العاشر في الشكل (20– 1)، وذلك لمدة عدة ثواني حتى يعود التيار لقيمته الطبيعية بعد اختفاء Starting Currents وبعدها يمكن للـ Relay أن يعود مرة أخرى إلى المنحنى الأصلي له. وهذا أفضل من بعض

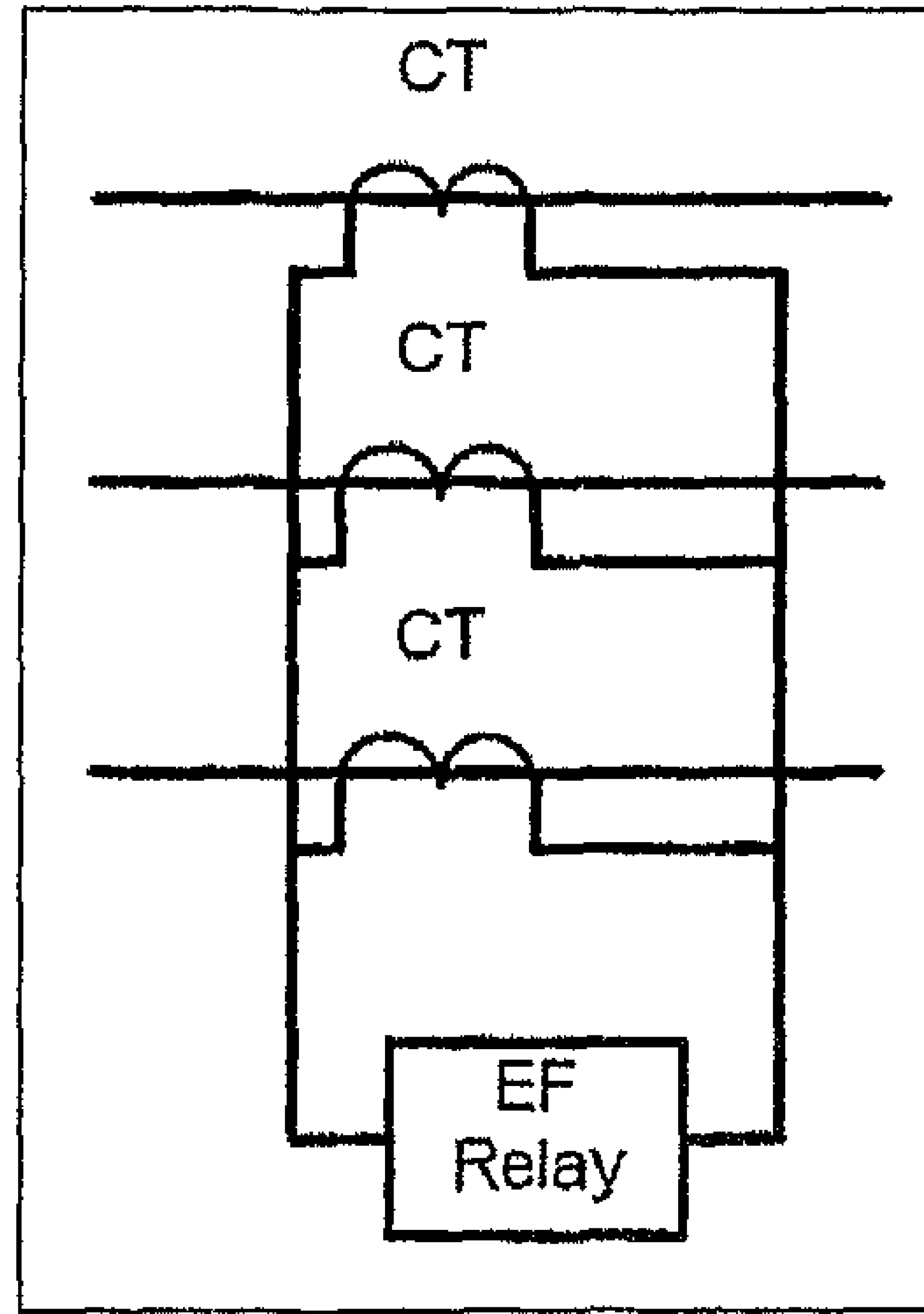
الحلول الأخرى التي تفصل أجهزة الوقاية تماماً في بداية رجوع الكهرباء لمدة ثواني حتى تسمح بمرور الـ Inrush دون مشاكل، لأن هذا الأسلوب ينطوي على مخاطر كبيرة، إذ يمكن أن يتصاف وجود عطل حقيقي في بداية التشغيل ترتفع قيمة التيار دون وجود حماية.

1.5.5 الوقاية من الأخطاء الأرضية Earth Fault Protection:

إن أحد الاستخدامات الرئيسية لأجهزة OC هو في الحماية من الأخطاء الأرضية Earth Faults، وقد سميت بهذا الاسم لأن الأرض تكون جزء من الدائرة المغلقة التي يمر فيها تيار العطل وسوف نستعرض الأنواع المختلفة من الـ Earth Faults Relays، وآلية عمل كل جهاز وبما أن Earth Fault Relays هو في الأصل OCR إلا أنه يأخذ رقماً مختلفاً في المحطات، فجهاز OC يظهر في المخططات برقم 51 (Inverse) أو 50(Ins t) بينما Earth Fault Relay يظهر في المخططات برقم 64 لأن طريقة توصيله مختلف في الدائرة.

- **الطريقة الأولى Residual Connected Earth Fault Relay:**

من المعروف أنه في الظروف الطبيعية للتشغيل تكون التيارات في الأوجه الثلاثة متساوية $I_C=I_B=I_A$، كما يكون المجموع الاتجاهي للتيارات الثلاثة يساوي صفراً. أما في حالة الأعطال فهذا المجموع سيساوي قيمة أكبر من الصفر. وهذه هي الفكرة التي بنيت عليها هذه الطريقة، حتى يوصل جهاز EF(64) ليمر خلاله مجموع التيارات الثلاثة كما في شكل (24– 1). والجهاز يرسل إشارة فصل في حالة زيادة التيار عن قيمة أعلى قليلاً من الصفر (غالباً ما تكون 20٪ من التيار الطبيعي في Phases).



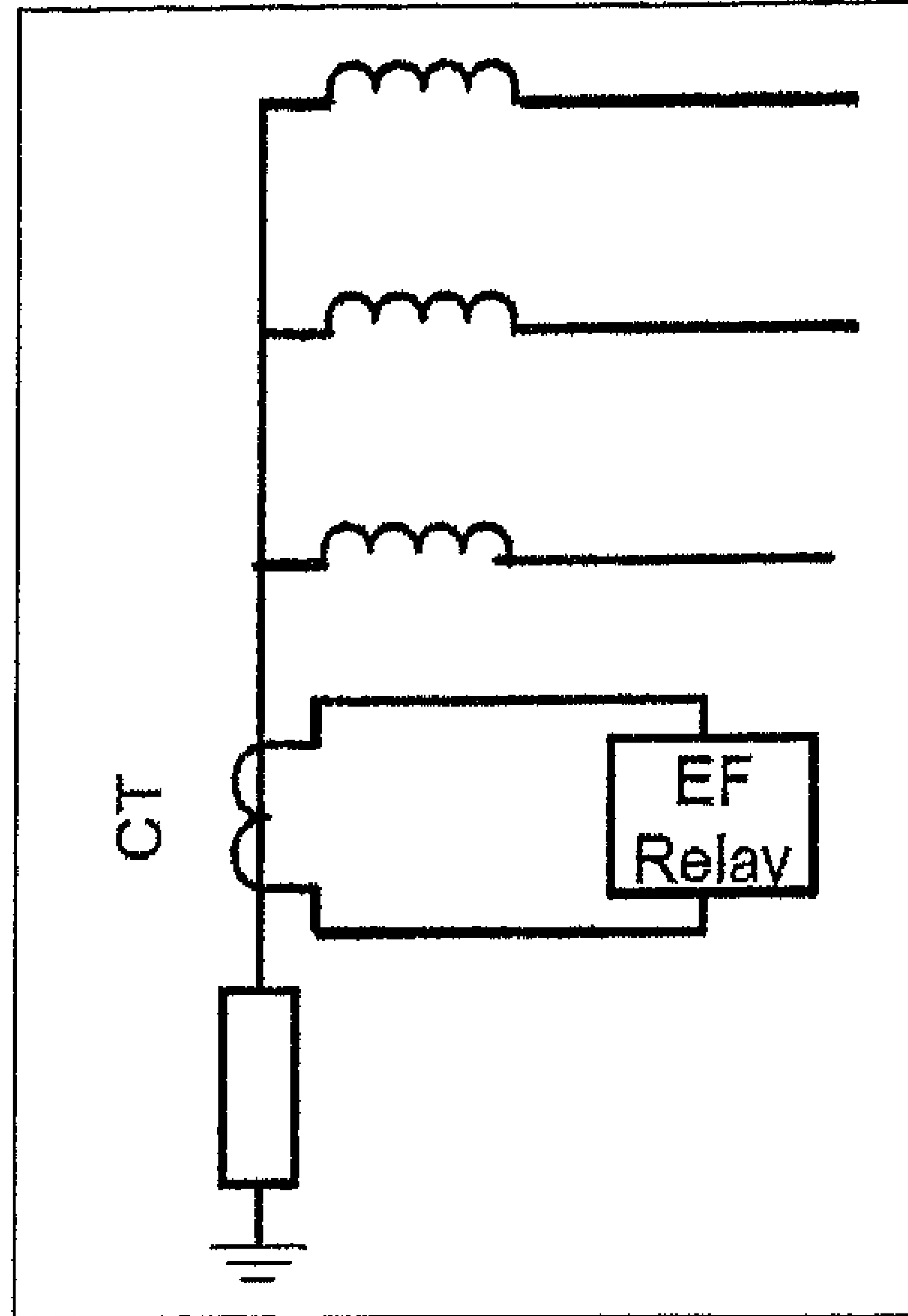
شكل (24 – 1) الطريقة الأولى

- **الطريقة الثانية EF In Neutral Connection:**

كما هو معلوم، فإن معظم المولدات يتم تأريض نقطة التعادل فيها بواسطة وصلة تأريض، وهذه الوصلة قد تكون إلى الأرض مباشرة Solid أو قد تكون خلال مقاومة. ومعلوم كذلك أن التيار المار خلال وصلة التأريض Earthing Connection يساوي صفراً في الوضع الطبيعي. وحتى في وجود تيارات متسربة على طول الخط من خلال Stray Capacitances فإن مجموع هذه التيارات يساوي – في أسوأ الأحوال – قيمة صغيرة جداً مقارنة بالقيم الطبيعية للتيار.

فلو افترضنا بأن عطلاً قد حدث على أحد الخطوط الثلاثة، فإن تيار العطل لا بد أن يجد طريقاً له خلال الأرض ليعود إلى المولد، وإلا فلن يكون هناك دائرة مغلقة وين يكون هناك تياراً للعطل أصلاً. وهذا الطريق هو الأرض نفسها وينتهي إلى وصلة التأريض ليعود إلى المولد ويكمل الدائرة المغلقة. ومن هنا فإن التيار خلال وصلة التأريض في أثناء التشغيل الطبيعي يكون صفر أو قريب من الصفر، بينما خلال فترة العطل سوف تحمل هذه الوصلة تياراً عالياً ومن هنا نبتت الفكرة الأساسية للتوصيلة المبينة في الشكل (25– 1)، بحيث يفصل الدائرة إذا مر

به تياراً أعلى من التيار الطبيعي لهذه الوصلة، والذي يعادل كما سبق ذكره 20٪ من قيمة التيار الطبيعي المار بالعنصر المراد حمايته.

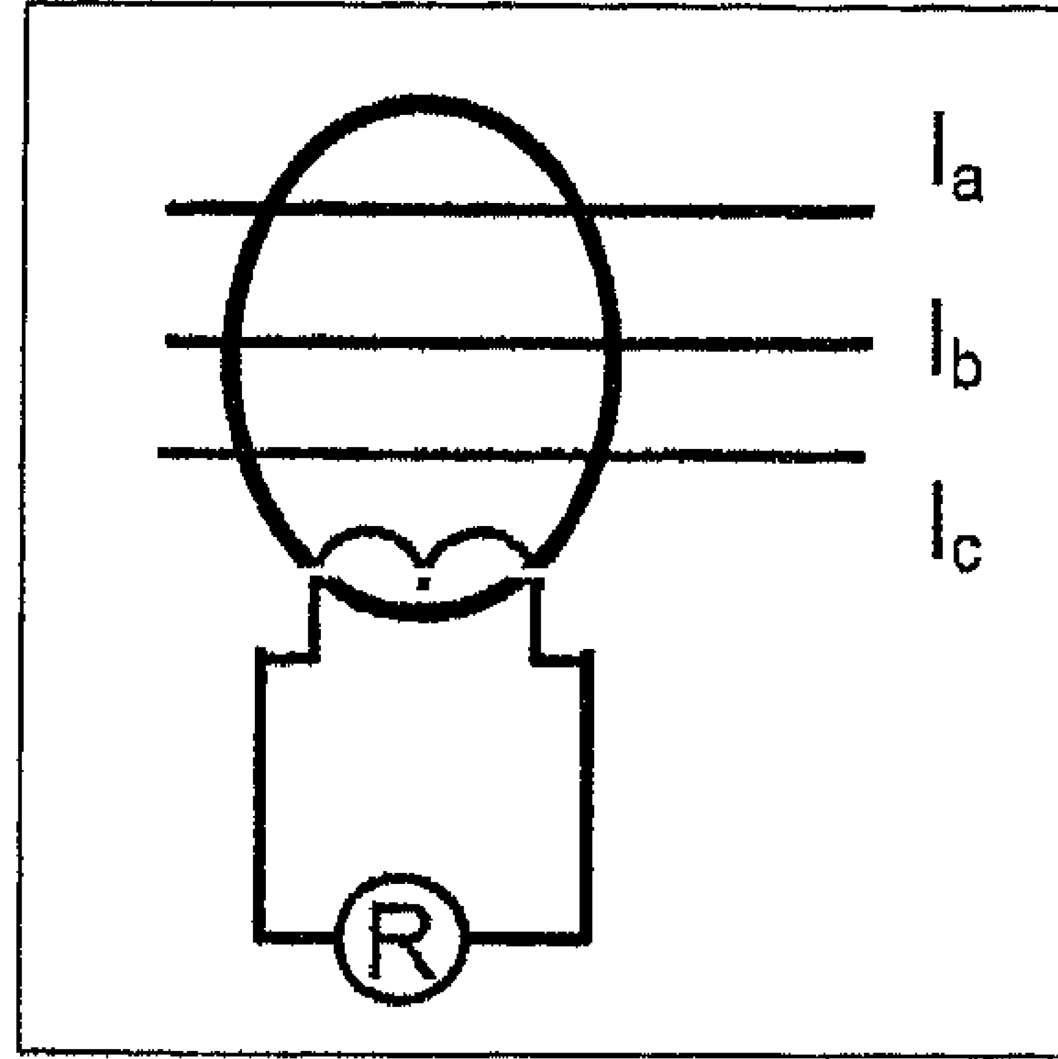


شكل (25 – 1) الطريقة الثانية

- **الطريقة الثالثة Core Balance EF Protection:**

ويتم اللجوء إلى هذه الطريقة في حال تعذر الطريقة الثانية للوصول لوصلة التأريض، أو في حال تعذر وضع محول تيار على كل خط على حدة كما هو في الحالة الأولى (حالة الكابلات). وهذه الطريقة مبينة في الشكل (26 – 1). ويتم فيها استخدام محول تيار واحد مركب على Core على شكل حلقة، حيث تدخل من خلالها الأسلاك الحاملة للتيارات الثلاثة، بينما يركب EF Relay على جهة الثانوي من المحول.

وعند الظروف الطبيعية للتشغيل يكون الفيض الإجمالي داخل الحلقة يساوي صفر، بينما تكون له قيمة كبيرة في حالة وجود خطأ فقط وتتميز هذه الطريقة بالحساسية العالية.



شكل (26 – 1) الطريقة الثالثة

- **الطريقة الرابعة Residual Voltage Relay:**

ومن الطرق المتبعة أيضاً لاكتشاف الأعطال الأرضية من خلال جمع الجهود للأطوار الثلاثة بدلاً من جمع التيارات. ومجموع الجهود $V_A + V_B + V_C$ يسمى Residual Voltage وهو يساوي صفر في الأحوال العادية ويساوي 3Vo عند وجود خطأ أرضي.

1.5.6 مميزات EF Protection:

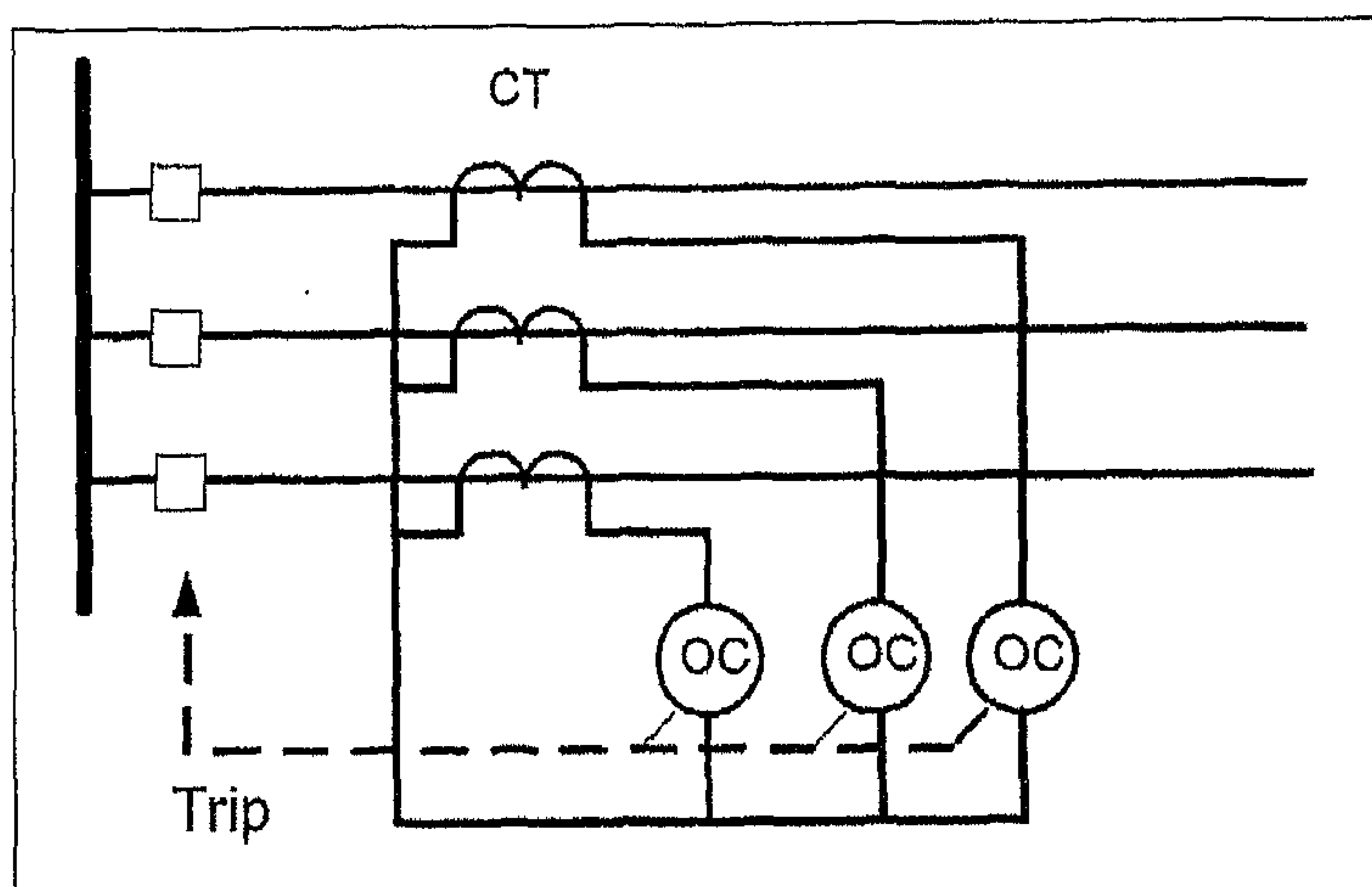
من خلال دراسة الطرق السابقة يتبين لنا بأن الميزة الأساسية لاستخدام EF Relays الحماية من الأخطاء الأرضية والتي يتفوق فيها على Phase OC Relays المستخدمة في الحماية من الأعطال في الأوجه هي الدقة العالية، حيث أن EF Relay لا يمر فيه تيار مطلقاً في الأحوال الطبيعية (أو في أسوء الأحوال يمر فيه تيار صغير جداً مقارنة بالتيار الطبيعي)، ثم في حالة العطل يمر به تيار عالي جداً، ومن هنا فالتباين والتمييز واضح جداً بين تيار العطل والتيار الطبيعي.

أما في حالة استخدام OC في الوقاية من أعطال الأوجه فإن الجهاز يمر به التيار الطبيعي (Phase Current) قبل حدوث أي عطل ثم ترتفع القيمة إلى قيمة تيار العطل بعد ذلك، وربما في بعض الأحيان يكون الفرق بين التيارين غير كبير

وبالتالي فالتمييز Discrimination بين الحالة الطبيعية وحالة العطل ليس كبيراً كما في حالة EF Protection.

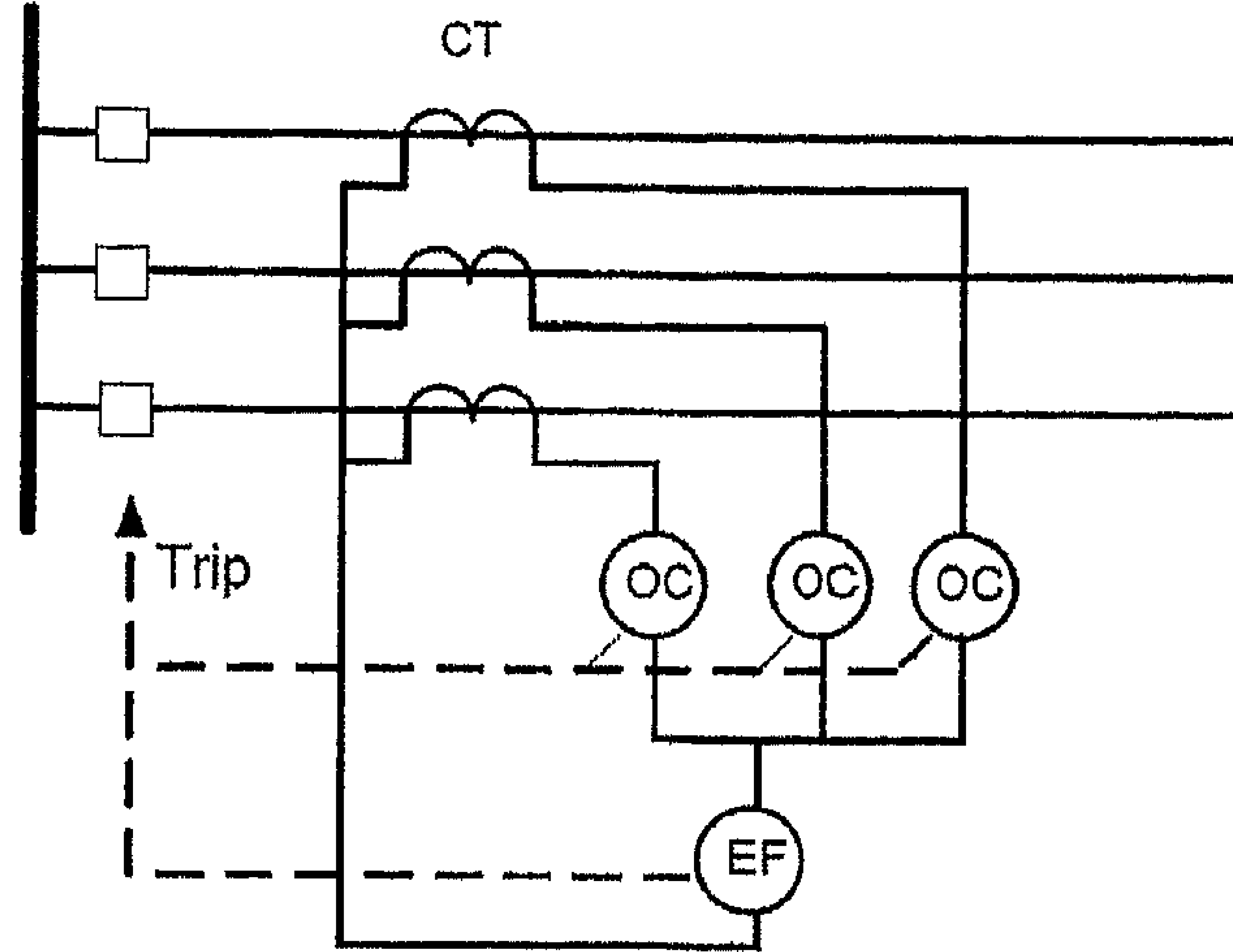
1.5.7 الأنظمة المختلفة لوصل OC Relays بالشبكات:

تتعدد طرق تركيب الـ OC Relays في الشبكات، وهو ما يعرف بـ OC Protection Schemes. فمن هذه الأنظمة استخدام OC Relay منفصل لكل Phase على حدة كما في الشكل (27 -1). وتتميز هذه الطريقة بالقدرة على اكتشاف جميع الأعطال في الأطوار الثلاثة.



شكل (27 - 1) استخدام OC منفصل في كل طور

وفي بعض الحالات يكون من الصعب اكتشاف بعض الأعطال الأرضية وذلك بسبب انخفاض قيمة تيار الخطأ. وفي مثل هذه الحالة نستخدم EF Relay مع المجموعة السابقة كما هو بالشكل (28 -1).

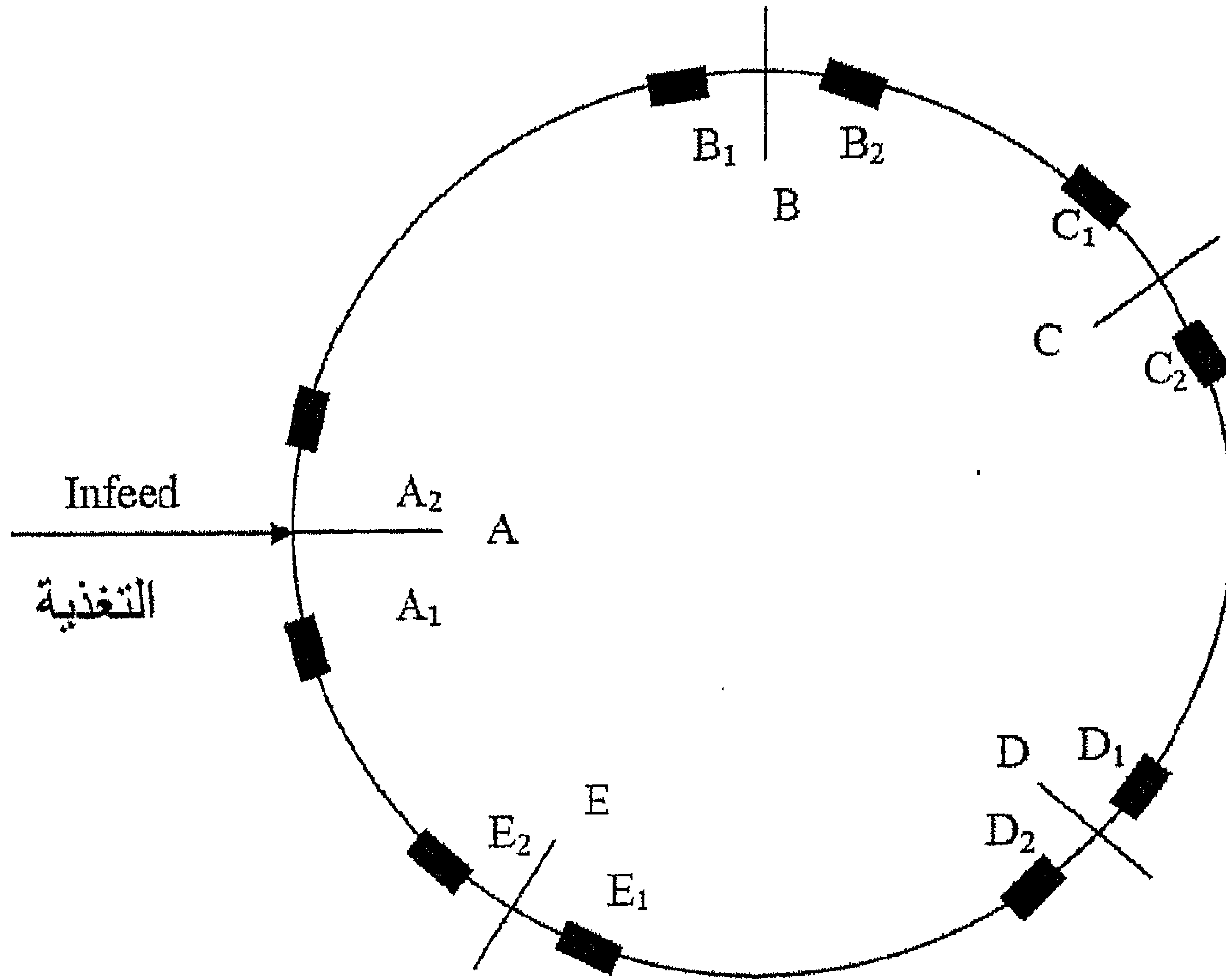


شكل (28 – 1) استخدام OC لكل طور مع EF

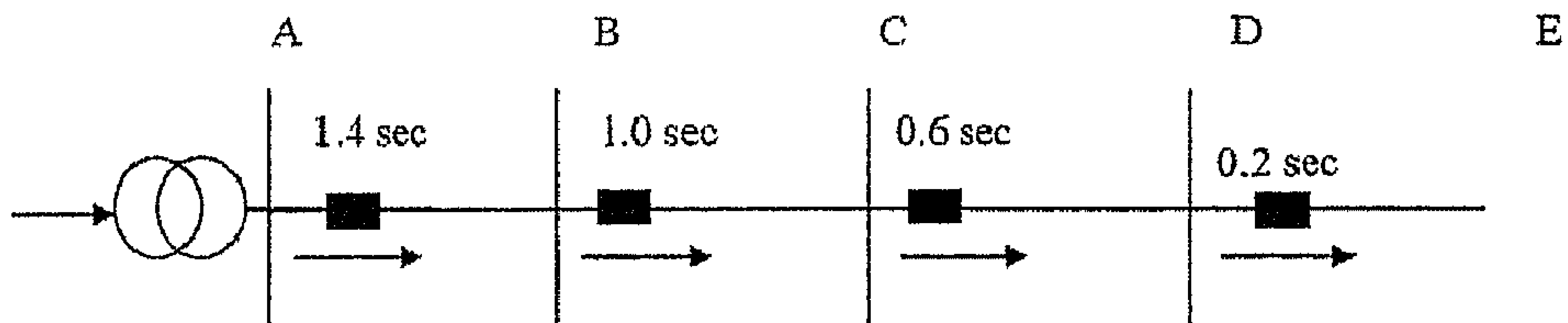
1.6 حماية الخطوط الحلقية المغذاة من مصدر واحد:

Protection of Single In feed Ring Systems

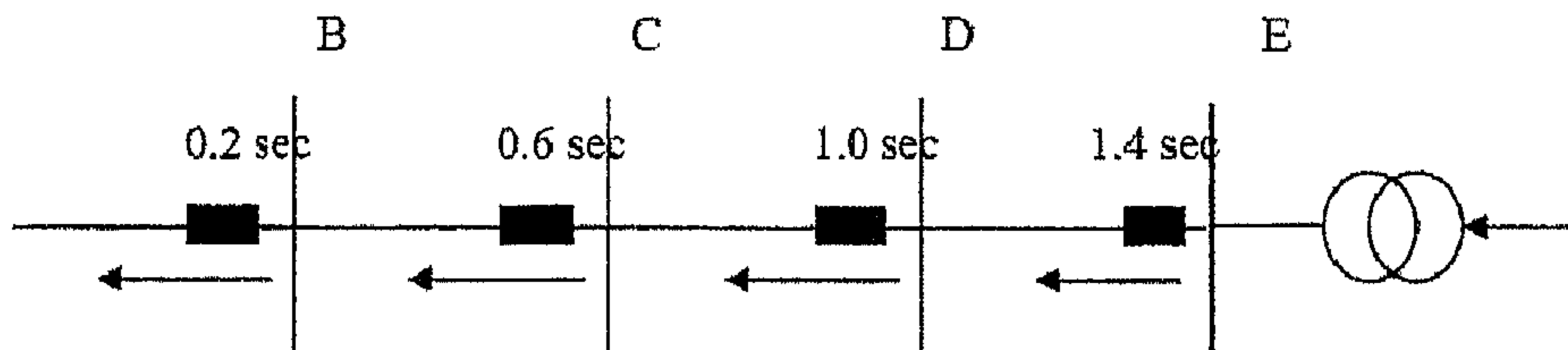
يبين الشكل (29 – 1) حماية متدرجة باستخدام المرحلات الاتجاهية لحماية الحلقة المبية والمغذاة من مصدر تغذية واحد. تركب القواطع الآلية على طرفي كل قسم من الخط، ويتم التعامل مع هذا النظام باعتباره كنظام خطي ذو تغذية شعاعين، كما هو موضح في كل من الشكل (a), (b).



الشكل (29 – 1) (a) حماية منظومة تغذية حلقية

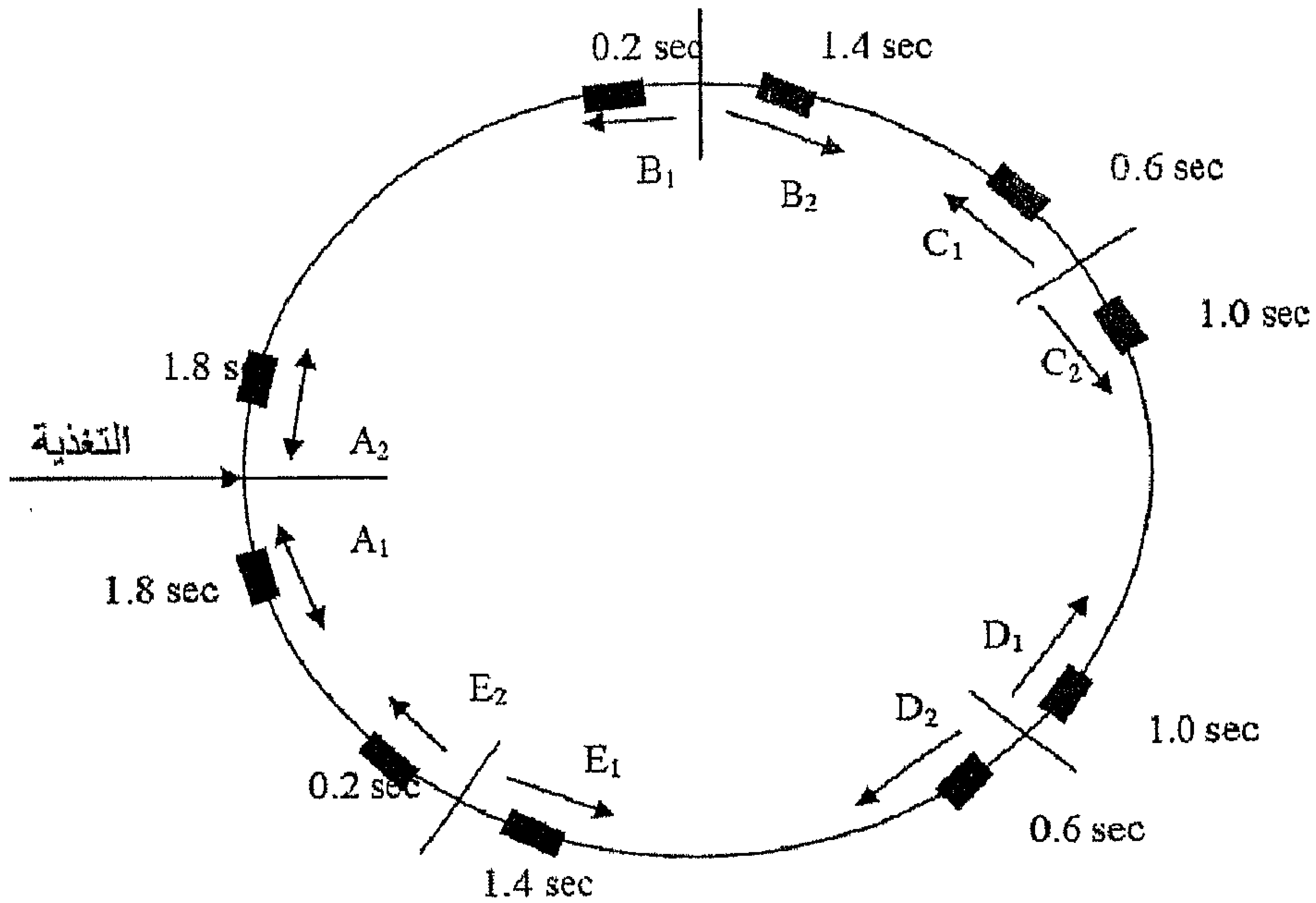


الشكل (b) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار لليمين



الشكل (30 – 1) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين لليسار

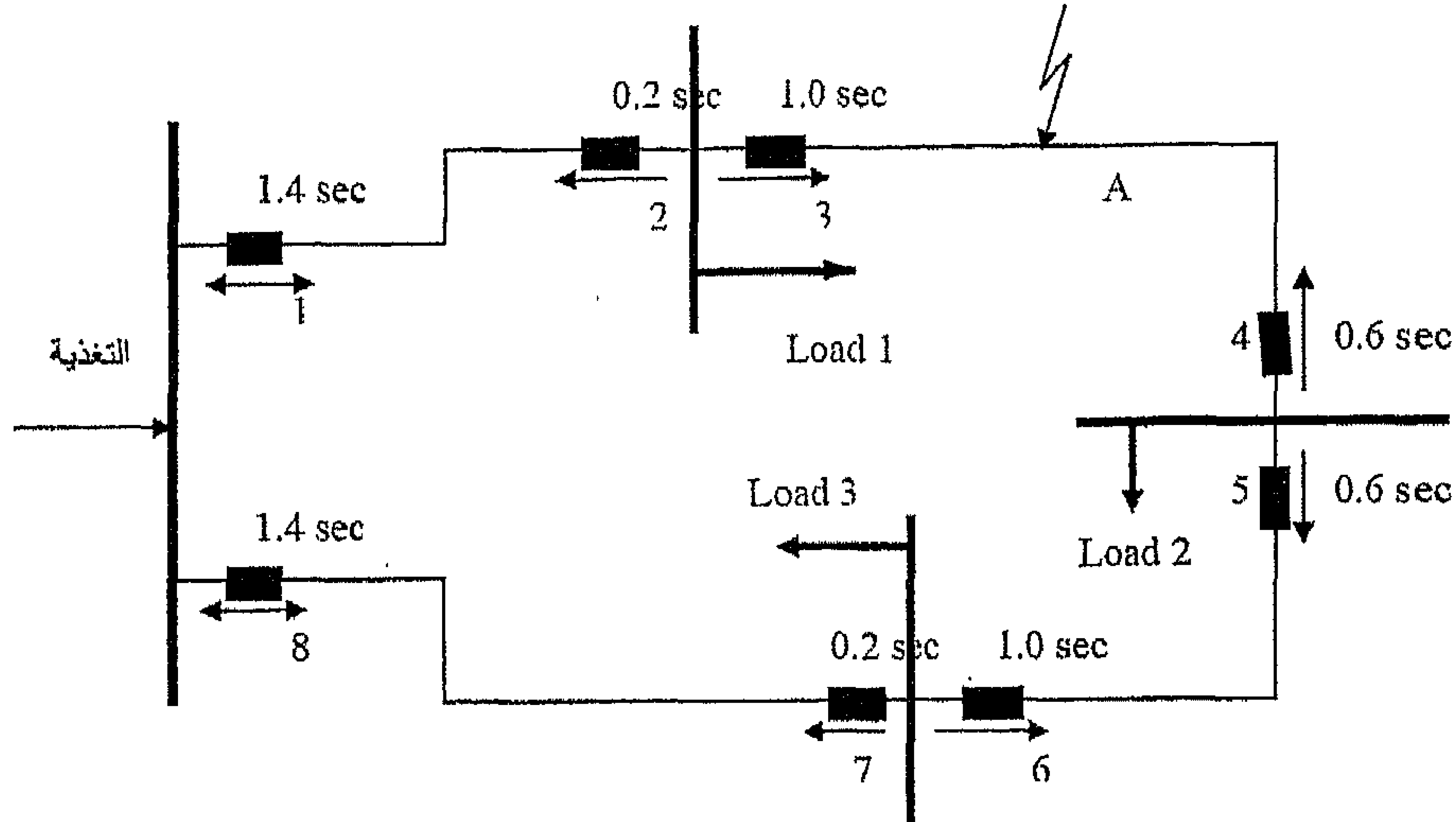
وباستخدام هامش زمني وقدره 0.4 sec بين Relays تكون قيمة التدرج الزمني هي: 0.2, 4.8, 1.4, 1.0, 0.6 والأسهم تشير إلى اتجاه الفصل حسب ما هو موضح في الشكل (1–30). أما المصدر (النقطة A) فإن القدرة تسري باتجاه واحد لذا لا حاجة لاستخدام المرحلات الاتجاهية $A_1\&A_2$. أما في المرحلات المستخدمة في النقاط الأخرى من الدائرة فيركب في كل محطة مرحلتان ذو اتجاه متعاكس ولها تأخير زمني مختلف.



الشكل (1 –31) التدرج النهائية لمنظومة حلقية تغذى من مصدر واحد.

والشكل (1–32) يبين مثالاً على حماية خط النقل الحلقي المغذى من مصدر واحد. فعند حدوث خلل ما في المنطقة A فإن تيار الخطأ يسري إلى نقطة الخطأ عبر طريقتين هما:

من خلال القواطع (3 – 2 – 1)، أو من خلال القواطع (8–7– 6 –5 – 4)، وعند كل C.B يوجد Relay، والأسهم تشير إلى اتجاه تشغيل المرحلات الاتجاهية. فمثلاً عند حدوث خطأ عند نقطة A تتحسس جميع الـ Relays هذا الخطأ ولكن يقوم Relay 4 بالفصل بتأخير زمني مقداره 0.6 sec وRelay 3 بتأخير زمني 1.0 sec وتعزل المنطقة دون أي انقطاع في التغذية عن بقية المناطق.



الشكل (33 – 1) حماية خط حلقي مغذى من مصدر واحد

1.7.1 التحمل الحراري للمعدات:

أحد أهم توابع ضبط أجهزة الوقاية أن يتم التأكد من أن المنحنى الذي تم اختياره (TDS) سينتج زمن فصل للتيار في الحدود الحرارية الآمنة للمعدات، بمعنى آخر، أنه بناء على خطوات الضبط أصبح معلوماً الآن أن تيار القصر (Is.c) مثلاً سيتم فصله بعد زمن (T)، لكن بقي أن نتأكد أن هذه الفترة الزمنية التي تمر قبل فصل الدائرة لن تسبب ارتفاع في درجة حرارة المعدات بدرجة أكبر من الحدود المسموح بها.

وهذه الحدود يتم تحديدها من قبل الشركات المنتجة لهذه المعدات، فمثلاً شركات الكابلات تنتج منحنيات مثل تلك التي في شكل رقم (33– 1)، وعلى نفس

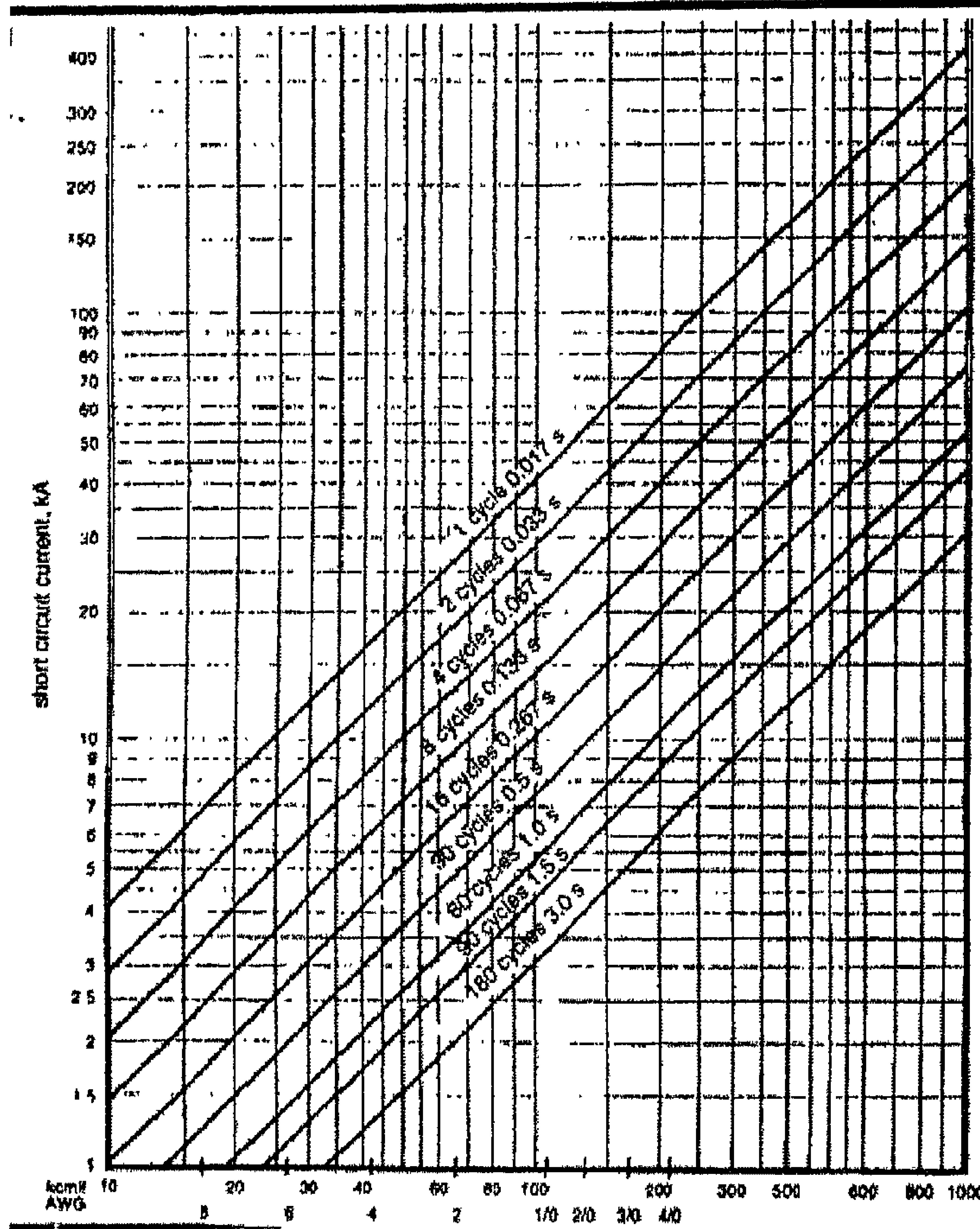
المنوال تنتج شركات المحركات والمولدات والمحولات منحنيات مماثلة. ومن خلال هذه المنحنيات وبمعرفة قيم الضبط يتم التأكد من أن مدة بقاء تيار القصر قبل فصله بواسطة منظومة الحماية لن يتسبب بضغوط حرارية على العنصر المراد حمايته.

مثال:

لو فرضنا أن تيار القصر خلال الكابل (1/0 AWG) كان في حدود 10 KA، ما الحدود الآمنة لزمن فصل التيار؟

الحل:

من الشكل المرفق (34 – 1) يتبين أن الكابل 1/0 AWG (في منتصف المحور الأفقي) يمكنه تحمل هذا التيار لمدة أقل من 16 cycle، ونحصل عليه من نقطة التقاطع خط رأسي عند 1/0 وخط أفقي عند 10 KA، والقيمة المكتوبة على أقرب خط المائل تعطيك أقصى تحمل لهذا الكابل، وفي هذه الحالة تعطى أقل من 0.267 ثانية، وبالتالي فإن قيم الضبط في هذه الحالة لن تسبب أي ضغوط حرارية على الكابل طالما تم فصله خلال فترة زمنية أقل من 0.267 ثانية.



شكل (33 – 5) منحنيات التحمل الحراري للكوابل

1.8 اختبار اجهزة Over Current:

إن متطلبات جهاز الحماية المطلوب تختلف طبقاً للتطبيق، وهل الجهاز Digital أم Electromechanical، وفي هذا الجزء من الفصل سوف نقوم بتوضيح طريقة اختبار جهاز حماية Digital Over Current، لأن متطلباته أشمل من أي نوع آخر.

يوجد عادةً عشرة اختبارات يجب أن يجتازها Over Current Relay لتحديد ما إذا كان يصلح استخدامه في هذه النقطة من المنظومة أم لا . وبعض

هذه الاختبارات يعتبر اختبار روتيني يمكن القيام به أكثر من مرة والبعض الآخر غير ذلك. وهذه الاختبارات هي:

1. اختبار دقة القياس.
2. اختبار وظائف الحماية Protective Function وهي من أهم الاختبارات.
3. اختبار تحمله للحدود القصوى الكهربية (أقصى تيار يمر به لمدة معينة أقصى جهد – أقصى تردد... الخ)، مع ملاحظة أن هذا الاختبار غير روتيني وتطبق مرة واحدة عند المفاضلة بين عدة أنواع.
4. اختبار نقاط التلامس للـ Output Contacts وتحملها لمرور التيار (مثلاً 5 أمبير لمدة 200 ثانية) وذلك لضمان أنه سيتحمل التيار الذي سيغذى دائرة فصل الـ CB فيما بعد)، وهو أيضاً اختبار غير روتيني.
5. اختبار Power Supply بمعنى أنه يستمر في أداء وظيفته مع حدوث تغير في قيمة جهد التغذية (مثل من 110 فولت إلى 220 فولت أو حسب مواصفاته).
6. اختبار حدود الضبط (كما سيأتي بالتفصيل).
7. اختبار تأثره بتيار الاندفاع Inrush current.
8. اختبار تأثره بالمجالات المغناطيسية المحيطة.
9. اختبار Man Machine Interface MMI وتعني سهولة التعامل معه، مع اختبار تغير كلمة السر password الخاصة بتغيير قيم الضبط والتأكد من أن الجهاز لا يعمل إلا عند كلمة سر واحدة.
10. اختبار قدرته على تسجيل الحوادث بعدد معين (Event Recording) وتشمل هذه الحوادث (الفتح والغلق والأعطال...).

ملحوظة مهمة:

إن الاختبارين الأخيرين خاصين فقط بأجهزة الوقاية الرقمية، أما الاختبارات الأخرى فهي عامة لكل الأنواع.

1.8.1 متطلبات الأختبار:

يلزم لإجراء الاختبار أن يكون متاح لدينا جهاز اختبار مناسب Tester. ودور هذا الجهاز أن يغذي جهاز الوقاية بتيار عالي يمثل تيار الطعل. وعادة يمكن برمجة الـ Tester بحيث يعطي قيم متنوعة ومتدرجة للتيار الذي يمثل تيار العطل. وجهاز الـ Tester يكون أيضاً مزوداً بـ Timer لقياس الزمن الذي استغرقه جهاز الوقاية قبل أن يفصل.

ويلزم قبل إجراء جميع الاختبارات تحديد ما يلي:

1. تحديد قيمة التيار الطبيعي المسموح بمرورها بالجهاز (غالباً يكون من 1 A أو 5 A).
2. تحديد قيمة تيار بدء التشغيل Pichup Current.
3. تحديد زمن التشغيل (وهي عبارة عن الفترة الزمنية من لحظة وصول التيار إلى Pickup وحتى إصداره إشارة الفصل).

وبعد تسجيل قيم الاختبار المطلوبة داخل الـ Tester، وبمجرد الضغط على مؤشر بدء الاختبار يبدأ الـ Tester بتغذية الـ Relay بتيار تدريجي حتى يصل إلى القيمة التي ضبط عليها جهاز Tester، فإذا كانت هذه القيمة أعلى من Pickup Current الذي ضبط عليه الـ Relay المراد اختباره، فإننا نتوقع من الـ Relay أن يصدر Trip Signal بعد زمن التشغيل المضبوط عليه جهاز الوقاية، والذي يقوم الـ Timer الموجود بجهاز الـ Tester بقياسه.

وعليه فإن Relay ينجح في الاختبار إذا قام بإصدار Trip Signal بعد أن يتعدى التيار الداخل له قيمة Pickup Current خلال فترة تساوي زمن التشغيل الذي تم ضبطه عليه. وتتباين كفاءة أجهزة الحماية في القدرة على العمل بالقيم المحددة عليه. فإذا فصل بعد مدة زمنية أكثر أو أقل من زمن التشغيل الذي ضبط

عليه فهذا يعني أن كفاءة Relay منخفضة، وربما يلزم إعادة معايرته أو إخراجه من الخدمة إذا كان مقدار التجاوز كبيراً.

ويتم عادةً قبل إجراء الاختبار تصميم جدول كالجدول المرفق (1 – 1) وذلك لتسجيل نتائج الاختبارات.

جدول (1 – 1): تسجيل نتائج الاختبارات

Phase	Low Setting							
	Setting		Test Results					
	Pickup Current	Op-Time	I_{pickup}	Trip Time	Reset Time	Reset Factor	Pickup Current Error	Op-Time Error
R	0.25	0.5	0.244	0.51	0.49	0.993	- 2.2%	2%
S	0.25	0.5	0.244	0.51	0.49	0.993	- 2.2%	2%
T	0.25	0.5	0.244	0.51	0.49	0.993	- 2.2%	2%

والجدير بالذكر بأننا نقوم بإجراء الاختبارات لـ Relay عند ضبطه على قيم عالية جداً High setting، ونعيد الاختبار مرة أخرى عند قيم منخفضة Low setting، حيث أن جهاز OC يمكن أن يستخدم كما ذكرنا في بداية الفصل في دوائر الحماية من القصر العالي وكذلك في دوائر EF ذات قيم تيار منخفض. والجهاز ذو الكفاءة العالية هو الذي يعمل بدقة في كلا الحالتين.

1.8.2 خطوات الاختبار Test steps:

1. يتم ضبط الـ Relay على قيمة محددة لـ Pickup Current، وكذلك زمن تشغيل معين، وذلك كما في العمود الثاني والثالث على التوالي من الجدول السابق.
2. يتم حقن الـ Relay بتيار من الـ Tester أقل من Pickup لمدة طويلة لاختبار ثبات الجهاز وتحمله للتيارات الطبيعية دون أن يفصل.

3. يتم قياس قيمة تيار كما يراها الـ Relay (أجهزة الوقاية الرقمية تظهر هذه القيمة على شاشة الجهاز) وذلك للتأكد من دقة القياس بجهاز الوقاية.
4. يتم حقن الـ Relay بتيار يزداد تدريجياً من خلال جهاز الـ Tester حتى تصدر إشارة الفصل Trip من الـ Relay. ويقاس التيار الذي حدث عنده Trip، وهذا التيار هو I_{pickup} الذي يظهر في العمود الرابع ويقارن لاحقاً بالقيم في العمود الثاني.
5. وطالما أن القيمة التي حقن بها Relay أعلى من Pickup Current، فإننا نتوقع أن مفاتيح التلامس لجهاز الحماية (Contact) تتلامس بعد زمن التشغيل الذي ضبط عليه جهاز الحماية والمذكور في العمود الثالث، ويقوم جهاز الاختبار بقياس زمن الفصل الذي استغرقه الـ Relay، وتظهر هذه القيمة في العمود الخامس من الجدول. حيث يتم مقارنتها بالقيم المذكورة في العمود الثالث. أما بقية الأعمدة في الجدول فيتم حسابها بناءً على القيم التي تم قياسها في الأعمدة السابقة، ونوضح ذلك في ما يلي:

1.8.3 معامل الرجوع Reset Factor:

ولفهم معنى هذا المعامل فإننا نتخيل حدوث عطل وازدياد قيمة التيار أعلى من Pickup Current، مما ينجم عنه أن جهاز الحماية يبدأ في العد التنازلي لزمن التشغيل استعداداً لإصدار Trip Signal، وهنا نفترض أن تيار الخطأ قد انخفض مرةً أخرى بسرعة قبل أن يشتغل الـ Relay، فنحن نتوقع في هذه الحالة أن "يرجع" جهاز الحماية سريعاً عن قراره الأول بفصل الدائرة وذلك بسبب انخفاض قيمة التيار.

ولقياس قدرة الـ Relay على سرعة الاستجابة للتغير في التيار المار به فإننا نجري هذا الاختبار.

ويتم ذلك بحقن الـ Relay بتيار أعلى من Pickup حتى يفصل وتغلق نقط تلامسه Contact Points.

ثم نبدأ بتخفيض قيم التيار الذي تم حقنه تدريجياً حتى تفتح Contact Points الخاصة بالـ Relay. ونسجل قيمة التيار الذي "تراجع" عنده الـ Relay في العمود السادس، بينما نسجل Reset Factor في العمود السابع.

ويتم تعريف معامل الرجوع بأنه:

$$\text{Reset Factor} = (I_{Reset})/I_{pickup} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1-3)$$

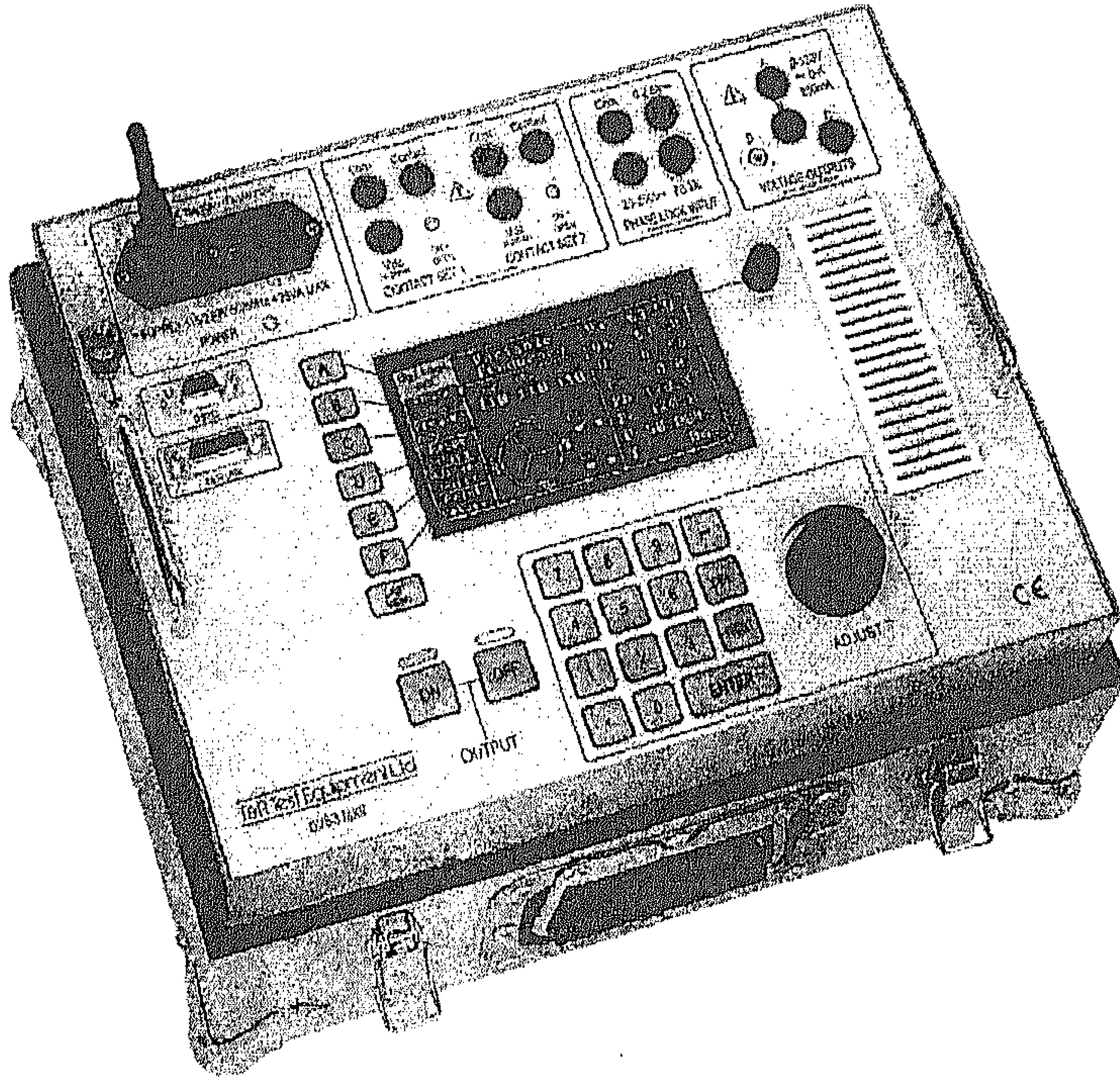
وكلما اقترب هذا المعامل من الواحد الصحيح كلما كان الجهاز أكثر حساسية، فنظرياً يجب أن يفصل إذا تعدى لتيار قيمة الضبط ولو بجزء من الألف، ثم يعود لوضعه الطبيعي إذا قلّ التيار عن قيمة الضبط ولو بجزء من الألف. ولذا كان قياس هذا المعامل هو أحد عناصر اختبار جهاز الوقاية. وأحد عناصر المفاضلة بين أجهزة الوقاية المختلفة. وعملياً لن تجد جهاز بهذه القدرة لكن كلما اقترب المعامل من الواحد الصحيح كان ذلك أفضل.

1.8.4 نسبة الخطأ The margin of error:

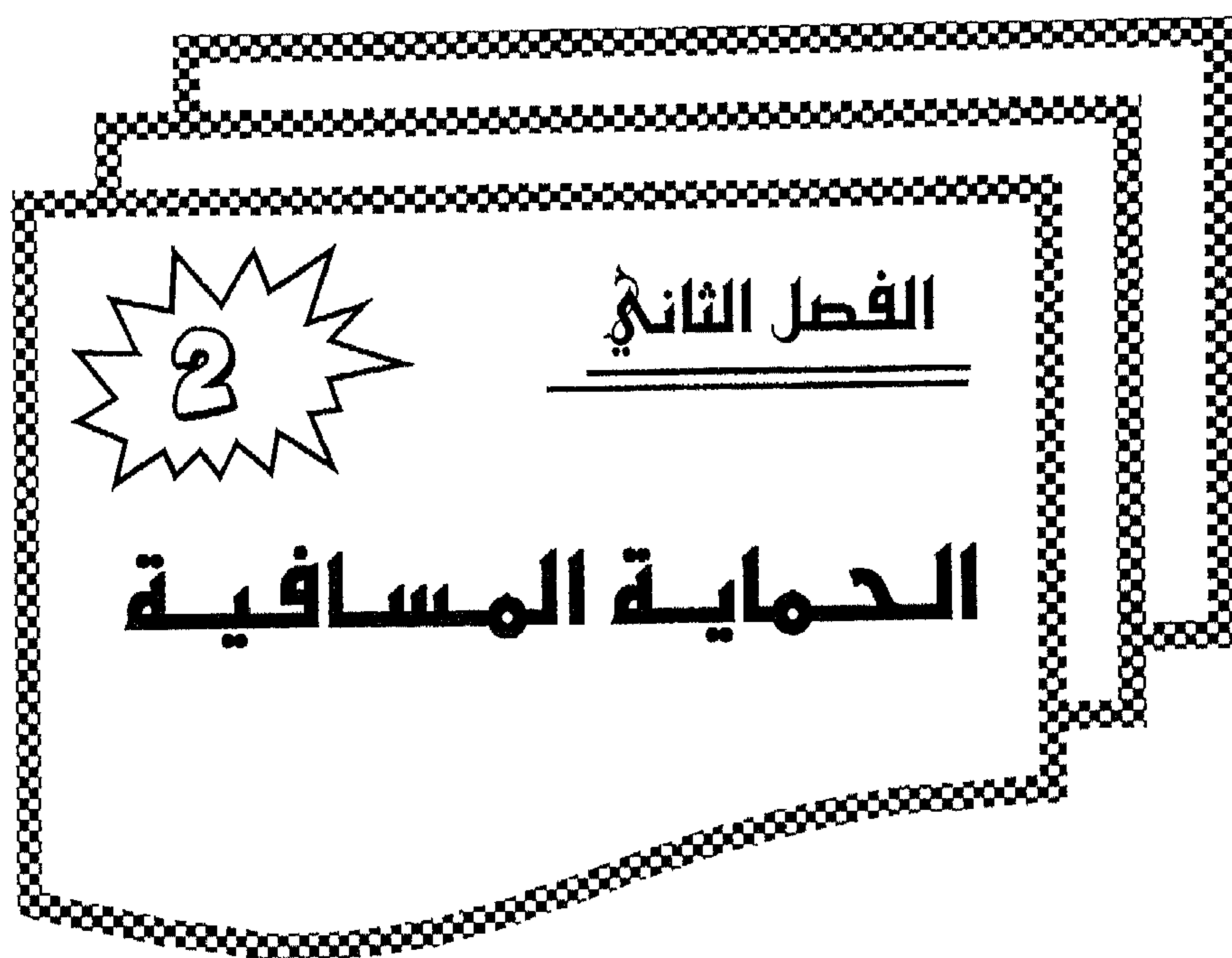
وكما نرى في الجدول فإنه يتم قياس نسبة الخطأ بين I_{pickup} الذي فصل عنده الجهاز وبين $I_{setting}$ الذي كان مضبوطاً عليه، وهذه النسبة تظهر في العامود الثامن.

وكذلك يتم قياس النسبة بين الزمن الفعلي للتشغيل وزمن التشغيل الذي ضبط عليه الجهاز، وتظهر هذه النسبة في العامود التاسع، والمفروض ألا تتجاوز هذه النسبة حوالي 3٪ (أو حسب ما حدد في كتالوج الجهاز). وعند ضبط الجهاز على العمل بـ High setting يمكن تكرار نفس الجدول السابق إلا أن الفرق الوحيد بينهما هو أن القيم سوف تكون عالية في الجدول الثاني.

والصورة المرفقة أدناه تبين أحد أشكال Relay Tester الحديثة.



Relay Testers (1 –3) صورة


الفصل الثاني
2
الحماية المسافية

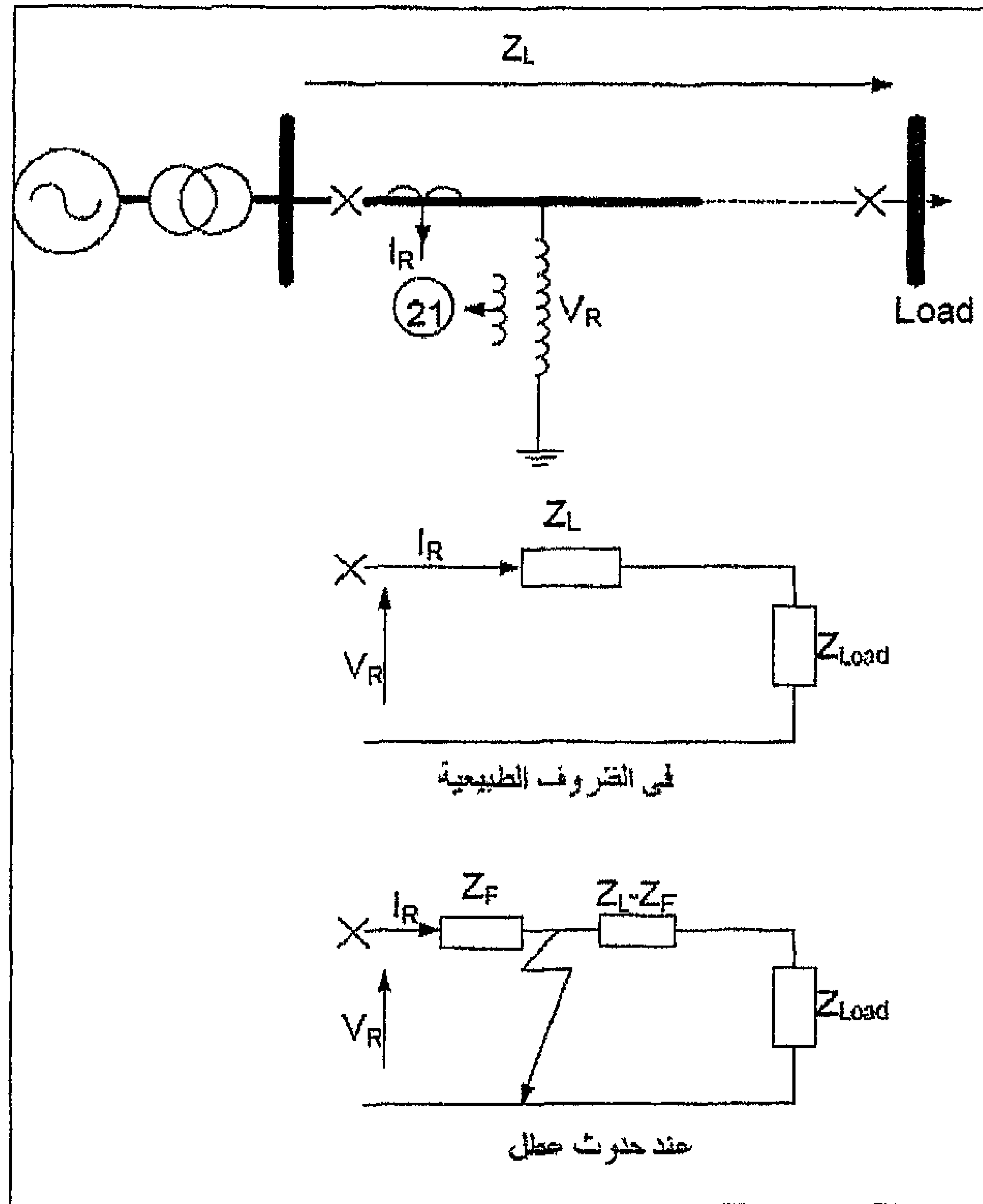
الفصل الثاني
الحماية المسافية
Distance Protection

2.1 المقدمة:

إن الحماية الأهم في خطوط نقل القوى الكهربائية هي أجهزة الحماية المسافية Distance Relays خاصةً في المنظومات ذات الجهود العالية والفائقة. حيث تتميز هذه الأجهزة بالقدرة على تحديد مكان العطل وليس فقط اكتشاف الخطأ.

2.2 أساسيات الحماية المسافية Basics of Distance Protection:

إن الفكرة الأساسية لهذه النوعية من الأجهزة أنها تتبع ناتج قسمة الجهد الذي يقيسه الـ Relay ويرمز له بـ V_R، على التيار المار بالـ Relay ويرمز له بـ I_R، بصورة مستمرة كما في الشكل (1 – 2). ففي الظروف الطبيعية يمثل خارج هذه القسمة قيمة عالية ويساوي $(Z_{Line} + Z_{Load})$، أما عند حدوث عطل فسينشأ Short Circuit على معاوقة الحمل ولا يتبقى من المعاوقة السابقة سوى الجزء الممثل للخط من مكان الـ Relay إلى نقطة الخطأ، ويرمز له بـ Z_F.



الشكل (1– 2) انخفاض قيمة معاوقة المرحل عند حدوث خطأ

وحيث أن هذه المعاوقة تتناسب طردياً مع مسافة الخطأ فبالتالي يمكن معرفة مسافة الخطأ بمعلومية معاوقته، وهذا هو المبدأ الذي بني عليه هذا النوع من أجهزة الحماية. فلو فرضنا مثلاً أن مقاوقة الخطأ تساوي Ω 10 فهذا يعني أن الخطأ على بعد 100 km من جهاز الحماية.

وهذه المعلومة التي حصلنا عليها (مسافة الخطأ) على درجة كبيرة من الأهمية لأنها تمكن جهاز الحماية من معرفة منطقة الخطأ، ومن ثم زمن الفصل المناسب، حيث أن لكل منطقة زمن فصل معين حسب بعدها من جهاز الحماية، كما سيتضح بالتفصيل لاحقاً، وحسب تنسيق أجهزة الحماية في هذه المناطق.

وهنا لا بد من ملاحظة أن القيم التي يحسبها Relay لا تمثل في الواقع القيمة الحقيقية للخط وإنما تتناسب معها حسب قيم VT وCT المستخدمين.

- مثال:

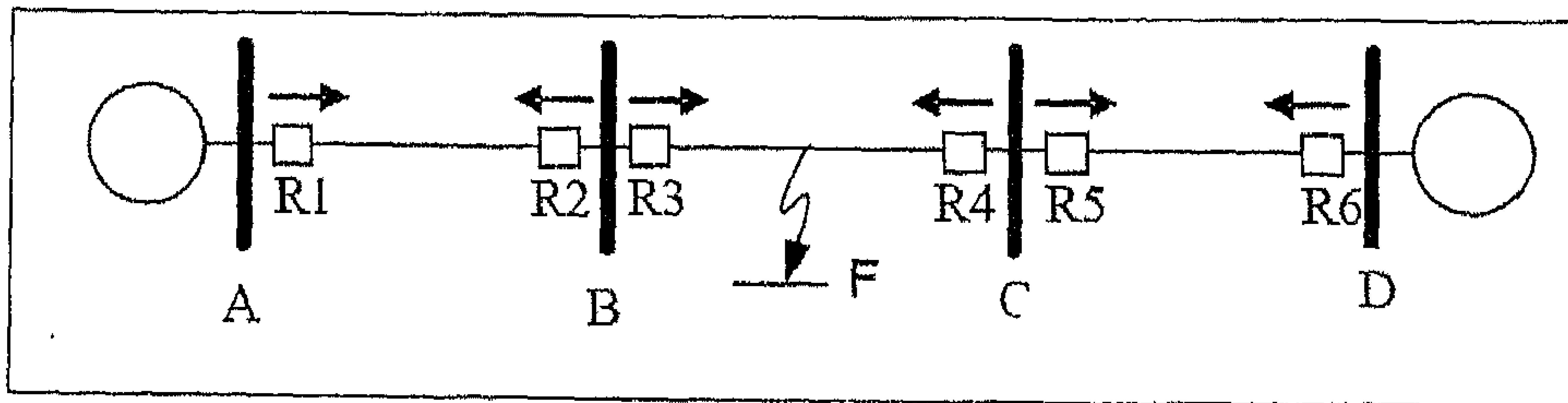
عند معاوقة خطأ حقيقية في جهة الابتدائي هي $Z_P = 4\ \Omega$، وكان مقدار $CT\ ratio = 600/1$، وكانت $VT_{ratio} = 115\ KV/115$ فإن:

$$Z_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_{FP} * \frac{V_2}{V_1}}{I_{FP} * \frac{I_2}{I_1}} = Z_P * \frac{CT_{ratio}}{VT_{ratio}} = 4 * \frac{600}{5} * \frac{115}{5} * 0.48\ \Omega$$

وهنا لا بد من ملاحظة أن القيمة أقل من القيمة الحقيقية وهي ($4\ \Omega$) لذا فقيم الضبط التي يتم استخدامها في جهاز الحماية يجب تعديلها للوصول إلى القيمة الحقيقية.

2.3 البدائل المتاحة في حماية خطوط النقل:

بدايةً نود أن نقوم بإجراء مقارنة بين استخدام OC Relay و Distance Relay في حماية خطوط النقل. ولتوضيح الفرق بينهما نذكر مثالاً بسيطاً. إذا افترضنا أن لدينا عدد من الخطوط (المحطات) المتتالية كما في الشكل (2-2) مربوطة بخطوط نقل طولية "T.L".



الشكل (2-2) حماية المحطات المتتالية

- في الحالة الأولى:

لو افترضنا أن أجهزة الوقاية المستخدمة عند كل محطة هي فقط Overcurrent Relays ففي حالة حدوث عطل عند نقطة F في الشكل السابق

فإن جميع أجهزة Overcurrent في المحطات D, C, B, A سوف تكتشف العطل ومن ثم سوف تفصل جميعاً وهذا شيء غير مرغوب فيه، لأن المفروض أن يفصل R3, R4 الموجودان في المحطة B & C فقط، فإذا فشلا فيجب أن يعمل R1, R6 عند D & A وهكذا. وبالتالي فقدرة أجهزة Overcurrent على حماية هذه النوعية من الخطوط محدودة جداً وغير ذات كفاءة.

ولا ننسى أن هناك مشكلة أخرى لأجهزة الـ OC Relay عند استخدامها في وقاية الخطوط الطويلة وهي مشكلة تغير قيمة تيار العطل حسب قوة مصدر التوليد، وهذا يعني أن بعض الأعطال يكون تيارها ضعيفاً ولا يستطيع OC أن يكتشفه.

- في الحالة الثانية:

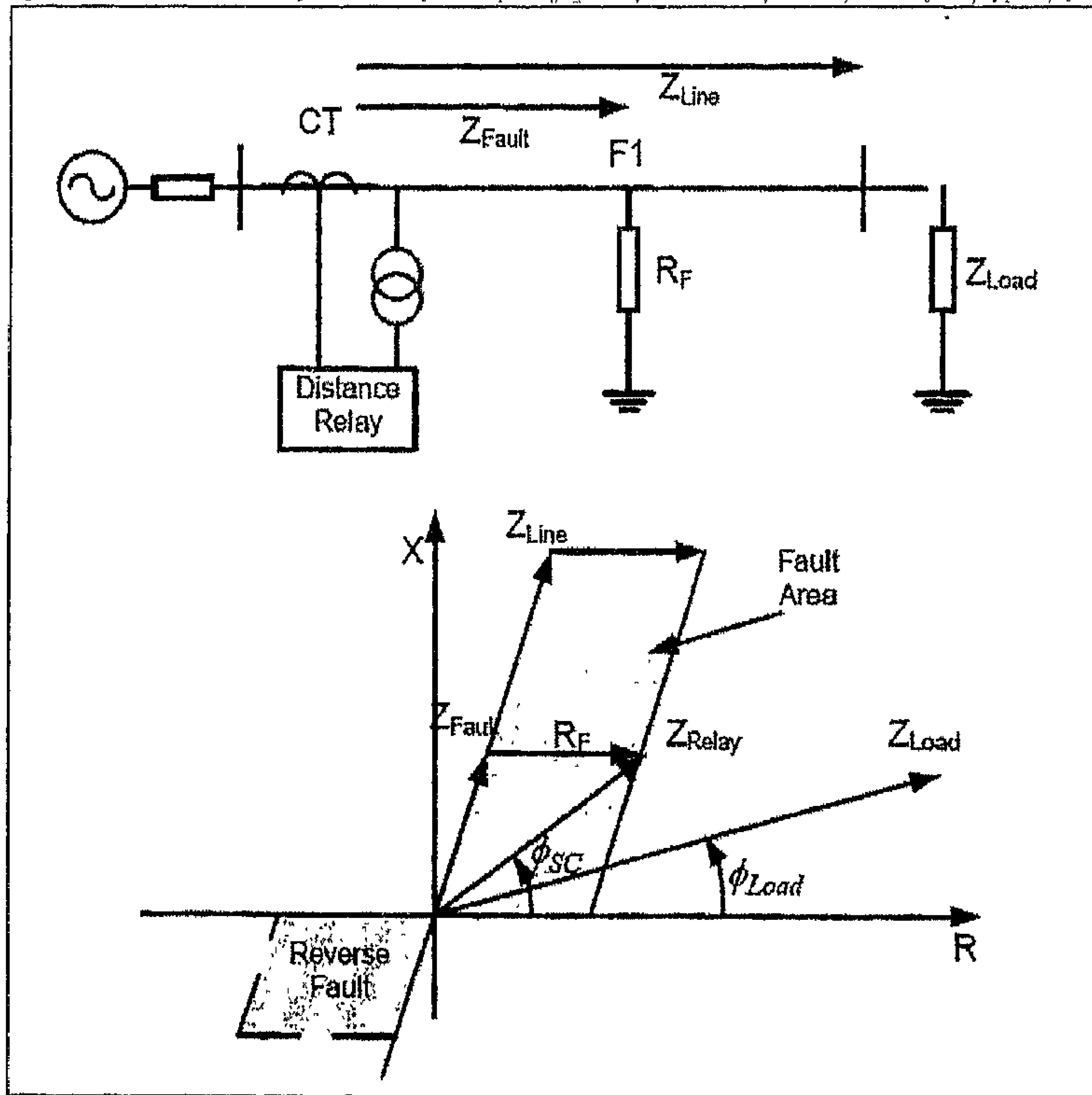
في هذه الحالة نفترض بأن الأجهزة Distance Relay ستتمكن الأجهزة من تحديد مسافة الخطأ ومن ثم يمكنه تحديد منطقة الخطأ وبناءً على هذه المعطيات يمكن للجهاز تحديد زمن الفصل المناسب. بل أكثر من ذلك أنه يمكنه أن يحدد زمن الفصل المناسب لأعطال خارج منطقة الحماية الرئيسية له، بمعنى أنه يفصل بعد زمن تأخير مناسب طبقاً لقواعد التنسيق بين الأجهزة.

فجهاز الحماية R1 الموجود في المحطة A على سبيل المثال يعمل كحماية أساسية من الأعطال في المنطقة ما بين A وB وفي نفس الوقت يعمل كحماية احتياطية في حالة كون الأخطاء خارج هذه المنطقة، لذا فجهاز DistanceRelay له ميزة أخرى إضافة إلى قدرته على تحديد مكان الخطأ وهي أنه يعمل كحماية أساسية واحتياطية في نفس الوقت.

2.4 مخطط Impedance diagram:

من أكثر الرسومات أهمية لمهندس الوقاية ما يعرف باسم الـ Impedance Diagram لأنه ببساطة يوضح العلاقات بين الأنواع المختلفة من Impedances على سبيل المثال: R_{Fault}، Z_{Load}، Z_{Fault}، Z_{Relay}، Z_{Line} بالإضافة إلى زاوية كل منهم. ومحاور هذا الـ Diagram هي R – X، والشكل (3-2) يوضح هذه العلاقات.

وغالباً في الظروف الطبيعية تقع المعاوقة التي يراها الـ Relay كنقطة على الخط Z_{Load}. فإذا حدث عطل فإنها تنتقل إلى نقطة على الخط Z_{Fault} ما لم تتحرك يميناً بسبب R_F. لاحظ أن R_F ليست ثابتة وقيمتها من صفر أوم حتى عدة مئات.



شكل (3-2) المعاوقات داخل Impedance

2.4.1 زاوية العطل:

نلاحظ أنه عند عدم وجود R_F سوف تكون زاوية مختلفة تماماً عن زاوية الحمل، لكن في وجود R_F تقترب الزاويتان من بعضهما مما يصعب عملية اكتشاف هذه النوعية من الأعطال.

ومن الملاحظات الواجب أخذها بعين الاعتبار لأهميتها أن زاوية Z_{Fault} على الشكل السابق التي يراها جهاز الحماية تكون أكبر في حالة العطل منها في حالة الحمل الطبيعي، وهذا شيء منطقي حيث أنه من المعلوم قبل حدوث الخطأ كانت المعاوقة التي يراها Relay تساوي Z_{Load} وكما نعلم بأن زاوية Z_{Load} تعتمد على النسبة بين Reactive & Active Power التي يستهلكها الحمل، وعادةً تكون في حدود 30:40 درجة عند افتراض أن Power Factor في حدود 0.8.

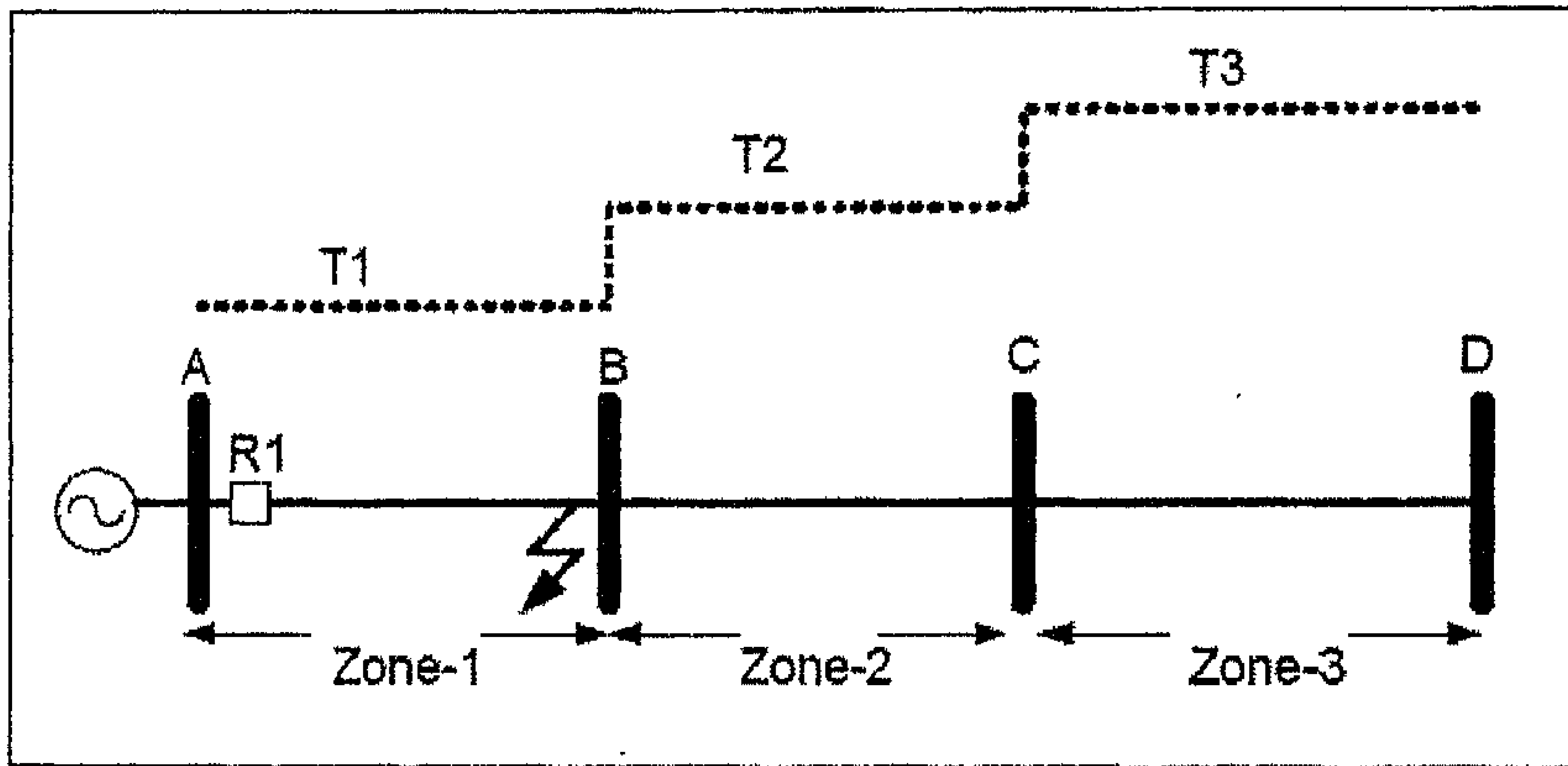
أما عند حدوث عطل فإن Z_{Load} يحدث Short على معاوقة الحمل، وبالتالي تختفي فلا يرى الجهاز إلا معاوقة الخط من مكان الـ Relay وحتى نقطة العطل، وهذه المعاوقة لها زاوية أكبر من زاوية Z_{Load}، لأن مقاومة الخط R_{Line} عموماً تكون أقل بكثير من X_{Linn} نذكر أن:

$$\Phi = \tan^{-1} \frac{X_{Line}}{R_{Line}}$$

لكن هذا الأسلوب في تمييز الأعطال تقل كفاءته عند حدوث الأخطاء خلال مقاومة، لأن زاوية الخطأ ستعتمد كثيراً على قيمة مقاومة الخطأ R_F التي ستجمع جبرياً مع R_{Line}، وهي قيمة غير ثابتة، وكلما كبرت قيمة R_F كلما اقتربت زاوية الخطأ من زاوية الحمل الطبيعي مما يزيد من صعوبة اكتشاف هذه النوعية من الأعطال. أما في الأعطال العادية بدون مقاومة فإن منطقة معاوقة الحمل الطبيعي ستختلف وتبتعد بدرجة معقولة عن منطقة معاوقة الأخطاء كما هو ظاهر بالرسم (شكل 4–2).

2.5 مناطق الحماية:

نظرياً، يجب أن تقسم المسافات بين المحطات إلى مناطق حماية متعددة zones، بحيث يقوم الـ Distance Relay، على سبيل المثال R1 في الشكل (2–4) بالحماية ضد الأعطال في كامل المسافة بين المحطة A والمحطة B، وتسمى هذه المنطقة zone – 1، وأي عطل في zone – 1 يتم فصله لحظياً، أو بعد زمن قصير جداً يساوي T1. أما لو كان الفصل في zone – 2 فإن الـ Relay ينتظر فترة تأخير T2، ثم يفصل الخط إذا استمر العطل موجوداً بنهاية فترة التأخير T2، وهكذا.. إذا كان العطل في zone – 3 حيث يتأخر الفصل بزمن قدره T3، إذا لم يكن قد تم فصله بالفعل.



الشكل (2–4) التقسيم النظري وزمن التأخير لمناطق الحماية الثلاثة

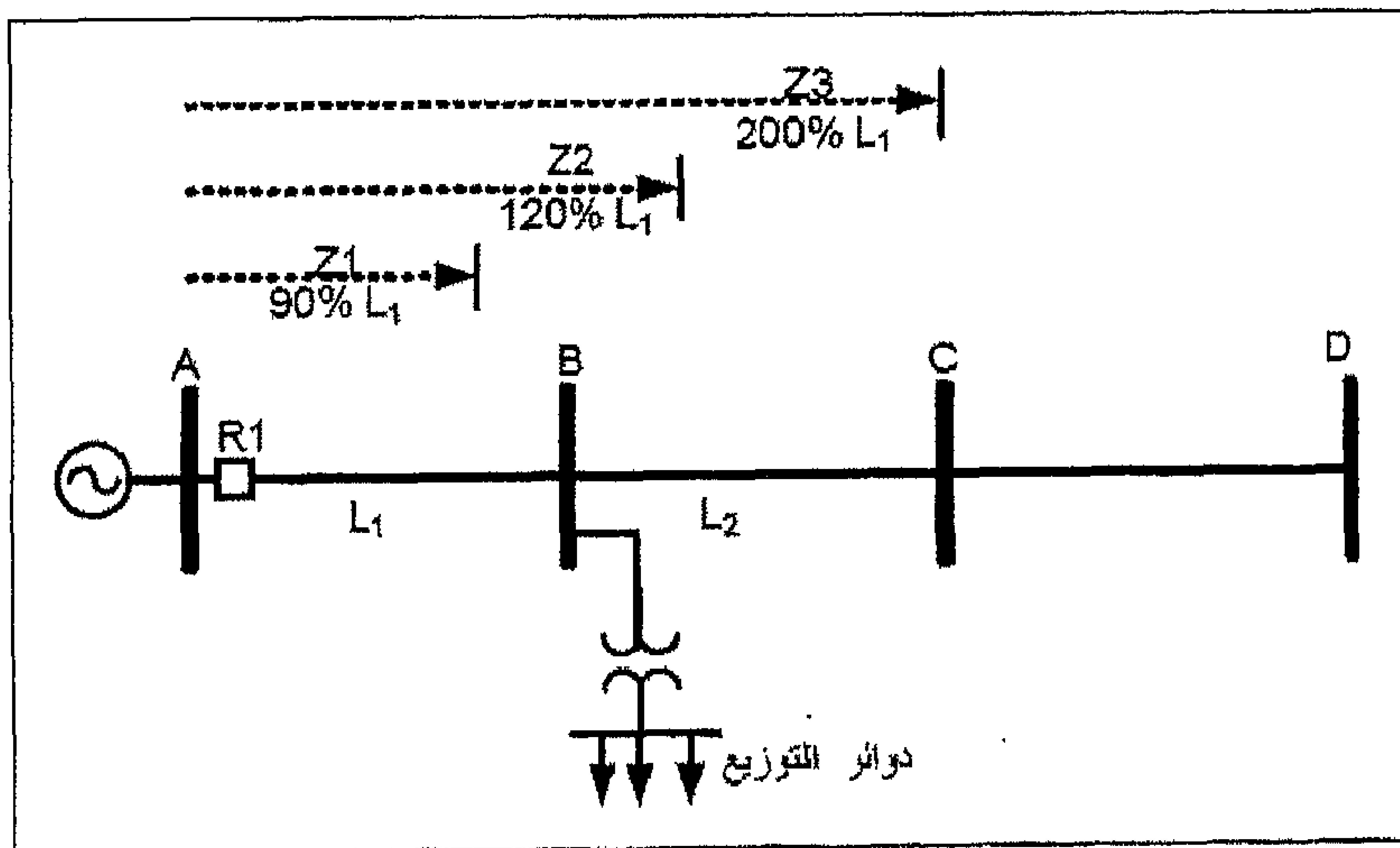
ولكن الواقع العملي جعل التقسيم السابق مستحيلاً بسبب الأخطاء المتوقعة من أجهزة القياس. فالجهاز يقوم بحساب خارج القسمة V_F/I_F، فلو فرضنا أن مجموع الخطأ في قياس الفولت والخطأ في قياس التيار يصل إلى 10% ±، فهذا معناه أن المسافة التي يسحبها الجهاز معرضة لنفس نسبة الخطأ وبالتالي فلو كان العطل فرضاً عند 95٪ من طول الخط AB في الشكل (2–4) فهناك احتمال أن يراه الجهاز عند 85٪ من الطول (بمعنى أنه لا يزال يراه عطلاً على الخط المراد حمايته)، وذلك في حالة إذا كان الخطأ بالسالب: (-10%). وفي هذه الحالة لا

توجد لدينا أي مشكلة بالنسبة لزمن الفصل، حيث سيفصل لحظياً كما هو متوقع، لكن بالطبع ستكون هناك مشكلة لفريق الصيانة المكلف بإصلاح العطل لأن الخطأ في قياس مسافة العطل بنسبة 10٪ على خط طوله 100 كم مثلاً معناه البحث في منطقة قدرها 10 كم طولياً.

غير أن المشكلة تصبح مضاعفة إذا كان الخطأ موجباً بنسبة (+10%) فهذا معناه أن جهاز الوقاية سيرى العطل عند 105٪ من طول هذا الخط، وهذا معناه أن جهاز الوقاية سيرى العطل خطأ في المنطقة B and C وكأنه واقع على الخط التالي للخط المراد حمايته، وبالتالي سيفصله بزمن تأخير T2 كوقاية احتياطية وليس كوقاية أساسية كما كان يجب أن يكون.

2.5.1 ضبط أجهزة الحماية المسافية Distance Relay:

لتفادي أخطاء أجهزة القياس تم اعتماد فلسفة مختلفة لعمل أجهزة DistanceRelays تهدف إلى تقسيم خطوط نقل القدرة إلى مناطق، ويتم تحديد المناطق كما هو موضح في الشكل (2–5) وهي كما نلاحظ أقل من الحدود النظرية التي ظهرت في الشكل السابق (2–4).



شكل (2–5) الحدود العملية لمناطق الحماية الثلاثة

- **المنطقة الأولى Zone – 1:**

ويتم ضبطها بحيث تغطي ما نسبته من 80٪ إلى 90٪ من طول الخط المراد حمايته فقط، والممثل في الشكل L_1. وتتوقف النسبة في التغطية على دقة أجهزة القياس المستخدمة وعوامل أخرى.

- **المنطقة الثانية Zone – 2:**

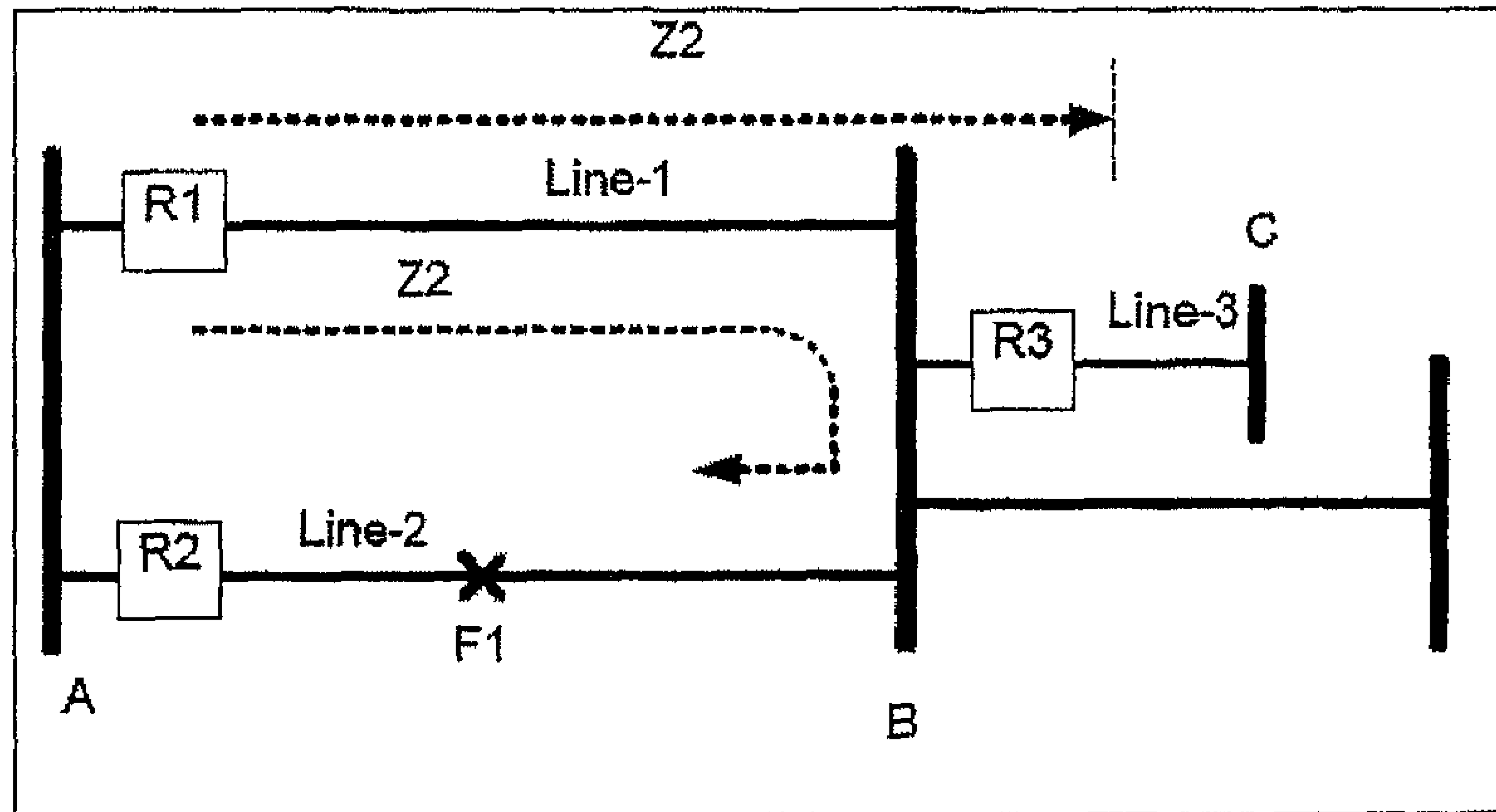
ويتم ضبطها بطرق مختلفة تعتمد على طول الخط التالي للخط المراد حمايته وشكل الشبكة المتصلة بها. ولكن في جميع الأحوال يجب أن تغطي Zone–2 الجزء من الخط الذي لم تشمله Zone–1 وهو يمثل في جميع الأحوال 20٪ من الخط، وفي الوقت نفسه فإن Zone–2 هي عبارة عن حماية احتياطية لحماية BB البعيد. وتجدر الإشارة هنا إلى أن زمن الفصل في Zone – 2 يكون في حدود 0.25 sec وقد يصل إلى 0.5 sec أي أنها تعمل بتأخير زمني، على العكس من Zone–1 الذي يفصل لحظياً.

من أكثر حدود الضبط المستخدمة أن يكون Zone – 2 مساوياً لطول الخط المراد حمايته مضافاً إليه 20٪ من طول أقصر خط تالي للخط المراد حمايته. ولا بد من التأكد هنا بألا تزيد حدود Zone – 2 بأي حال من الأحوال عن حدود Zone – 1.

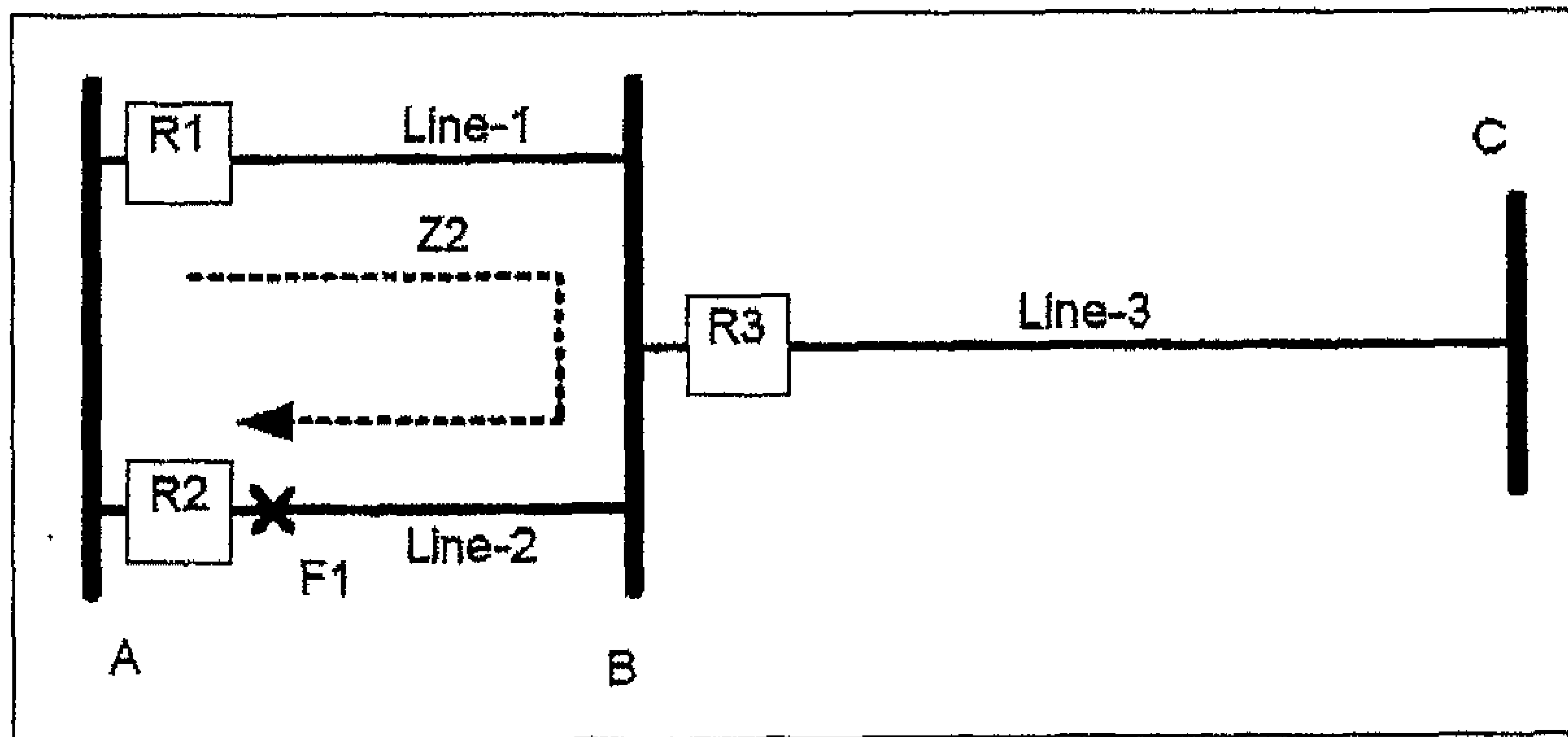
لكن يعيب هذه الطريقة أن الجزء الذي يغطيه Z2 في حالة وجود خط آخر على التوازي مع الخط المراد حمايته يكون صغيراً جداً، لاسيما إذا كان الخط التالي لهما قصيراً كما في الشكل (5–2). فالعطل عند النقطة F1 في الشكل (6–2) تقع فعلياً في Zone– 2، لكنها بسبب قصر الخط التالي فسنتعامل وكأنها في Zone – 3.

وربمــا يكــون الجــزء الــذي يغطيــه Zone-2 كــبير جــداً إذا كــان طــول الخطين المتوازيين قصير، في حـين أن الخـط التـالي لهمـا طويـل جـداً كمـا في الشـكل (2-5). وبالتـالي يحـدث عكـس المشـكلة السـابقة، حيـث كـان مـن المفـترض فصـل العطل كمرحلة ثالثة لكنه سيفصل كمرحلة ثانية.

ولذا فقد استخدمت فلسفة أخرى تضبط -Zone-2 بحيث تساوي 120٪ من طول الخط المراد حمايته بشرط ألا يتعدى مدى Zone – 2 أكثر من 50٪ من طول الخط التالي، وهو ما يمكن أن يحدث إذا كـان طول L_2 أقصر بكثير من طـول L_1 لعندها سيكون 20٪ من طول L_1 ربما تكون أكبر من L_2 نفسه.



عند وجود خط قصير بعد خط طويل



عند وجود خط طويل بعد خط قصير

الشكل (2-6) بعض مشاكل ضبط Zone – 2

- **المنطقة الثالثة Zone – 3:**

وهذه في الغالب تكون بحيث تغطي الخط المراد حمايته كاملاً بالإضافة للخط التالي له بالكامل أيضاً (وقد يضاف أيضاً 20٪ من طول الخط الثالث إلى هذا الطول)، ويشترط أن تكون معاوقة (Zone – 3) أقل من مجموع معاوقة الخط مضافاً إليها معاوقة المحول الموجود في المحطة التالية، على سبيل المثال فإن حدود Zone – 3 الخاصة بـ R1 في الشكل (6–2) يجب أن تكون أقل من مجموع معاوقة الخط AB مضافاً إليها معاوقة محول التهذين في المحطة B. لأنه لو كانت معاوقة Zone – 3 أكبر من مجموع هذه المعاوقات فهذا معناه أن جهاز الوقاية يمكنه أن يتأثر بالأعطال التي يمكن أن تحدث في Secondary Side للمحول (أي في دوائر التوزيع)، وهذا الاحتمال يجب استبعاده بصورة مطلقة لأن جهاز الوقاية يمكن أن يتأثر في هذه الحالة بتغير الأحمال ويعتبرها صورة من صور الأعطال، وهو ما يعرف باسم Load Encroachment، وعلى مهندس الحماية التأكد من عدم وجود هذه المشكلة.

على سبيل المثال، في الشكل (6–2)، لو كانت Z3 تساوي مثلاً 4 أوم، فيجب التأكد من أن مجموع معاوقة الخط L_1 مضافاً إليها معاوقة المحول المغذي لشبكات التوزيع أكبر من 4 أوم بحيث أن أي عطل في شبكة التوزيع ربما يتسبب في انخفاض قياس المعاوقة لكن في كل الأحوال لن تكون Z_R أقل من 4 أوم، وبالتالي لن يشعر R1 بأي أعطال في منطقة التوزيع.

2.5.2 منطقة الحماية الغير اتجاهية:

في بعض أجهزة الوقاية الرقمية تضاف Zone – 4 كمنطقة رابعة إلى مناطق الحماية الثلاث، وتتميز هذه المنطقة الجديدة بأن لها مدى خلفي reverse reach يقدر بحوالي 10 – 15٪ من Zone – 1. وهذا يعني أن Directional Non-Zone، والهدف من هذه التغطية الخلفية هو العمل كوقاية احتياطية

للأعطال التي تقع على الـ BB. كما تعتبر وقاية في حالة Breaker Failure. مع ملاحظة أن المدى الأمامي لهذه المرحلة أكبر من Z3 ويصل إلى 250٪ من طول الخط الأصلي المراد حمايته.

وزمن الفصل لهذه المرحلة كبير جداً وقد يصل إلى عدة ثواني، وبالطبع لن يصل الـ Relay إلى هذه المرحلة إلا بعد فشل الوقاية الـ Main وكذلك الـ Backup إضافة إلى حدوث Breaker Failure في اكتشاف العطل. وهي حالة يفترض أنها نادرة لكنها يمكن أن تحدث.

وهناك فائدة أخرى لـ Zone – 4 وهي اكتشاف الأعطال القريبة جداً من Relay والتي ربما لا يكون هناك قيمة تذكر للـ Phase Voltage، وبالتالي لا يكون هناك قدرة للـ Directional Unit على العمل واكتشاف هذا النوع من الأعطال، لكنها تقع ضمن عمل Non- Directional Zone.

2.6 انواع Distance Relay:

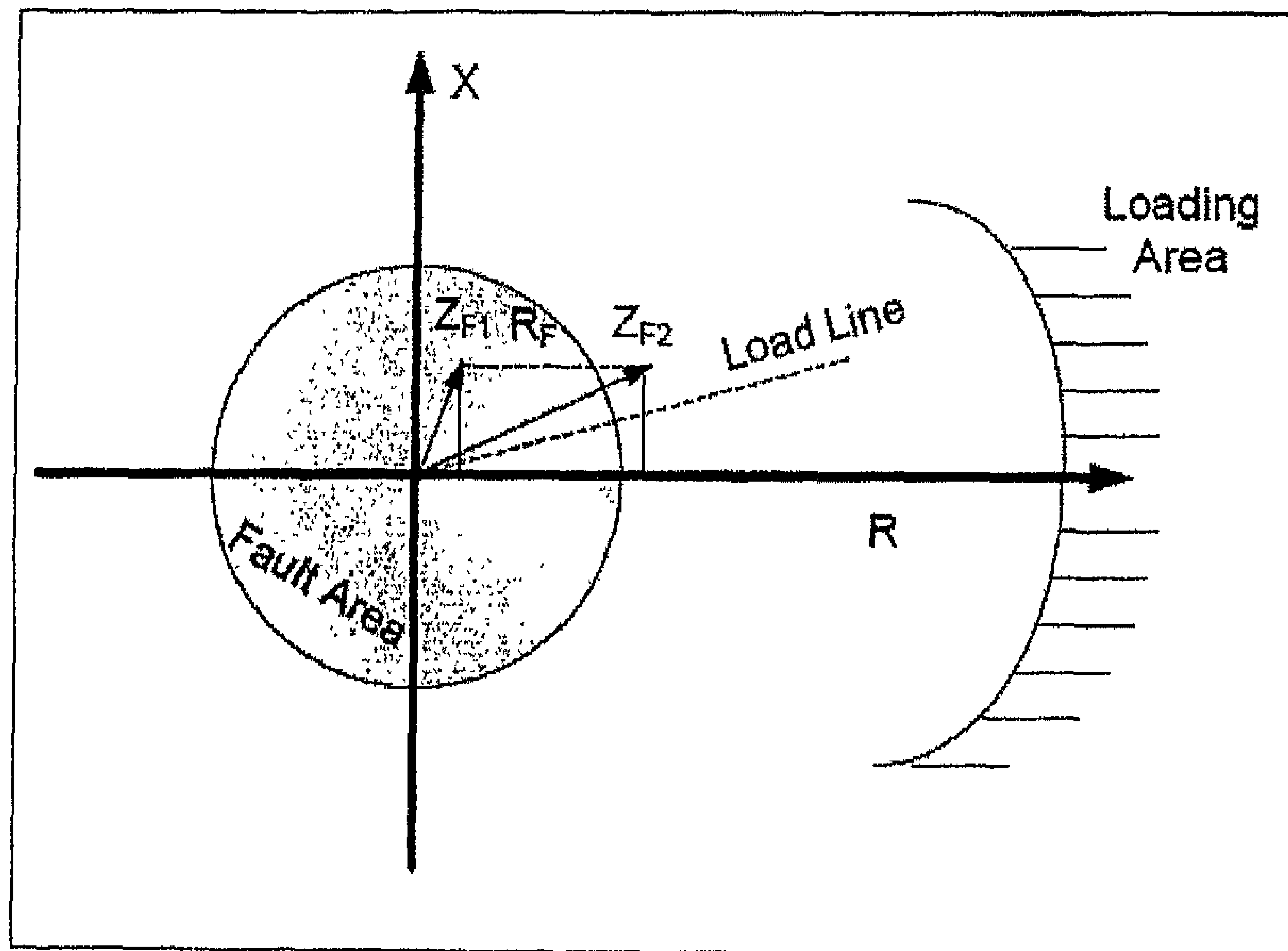
يتم عادةً رسم الحدود الخاصة بكل منطقة داخل جهاز Distance Relay طبقاً لنوع الجهاز وطريقة تصنيعه. وهي في الغالب إما أن تكون على شكل متوازي مستطيلات، أو دوائر، وأحياناً على شكل متعرج ويعود ذلك حسب متطلبات التشغيل. وتتميز أجهزة الحماية الرقمية بالقدرة على عديل شكل هذه المناطق بأشكال مختلفة.

على العكس من أجهزة الحماية الالكتروميكانيكية، والتي في الغالب تمثل فيها المناطق على شكل دوائر ثابتة الشكل. وهو ما يميز أجهزة الحماية الرقمية.

وهنالك أنواع عديدة لأجهزة الحماية المسافية والتي تختلف أساساً فيما بينهما في طريقة رسم حدود عمل الجهاز، ونذكر هنا بعض هذه الأنواع:

2.6.1 Impedance Relay:

إن هذا الصنف هو أبسط أنواع أجهزة الحماية المسافية، وحدود عمله عبارة عن دائرة كما في الشكل (7–2)، حيث أن الفكرة الأساسية له أنه يقوم بقسمة الفولت على التيار ليحصل على قيمة Z_F ويتخذ قراره بالفصل إذا كانت القيمة داخل حدود عمله. فالنقطة Z_{F1} مثلاً تمثل المجموع الاتجاهي لقيمة Resistance & Reactance من مكان Relay إلى نقطة الخطأ وهي تقع داخل دائرة العمل.



الشكل (7–2) منطقة عمل Impedance Relay

ويعيب هذا النوع من الأجهزة أنه يستجيب للأعطال الأمامية والخلفية فهو غير اتجاهي، ولذا فهو يحتاج إلى تعديل بإضافة Directional Unit لكي يستجيب فقط للأعطال التي تقع أمامه Forward Faults. ويعيبه أيضاً أن أداءه يتأثر بشدة إذا وقع العطل خلال مقاومة أرضية R_F، كما في حالة العطل Z_{F2} حيث ستقع نقطة العطل المفترض وجودها في Zone-1 خارج حدود الدائرة كما في الشكل (7–2). وبالتالي فإن الـ Relay سيرى نفسه غير مسؤول كوقاية أساسية

عن فصل هذا العطل، لكنه سيتعامل معه كوقاية احتياطية وبالتالي يفصله بعد زمن تأخير. وهذا بالطبع شيء غير مرغوب فيه.

ولذلك فهناك كم ضخم من الأبحاث المنشورة في المجلات العلمية العالمية تعنى بمحاولة اكتشاف هذه النوعية من الأعطال لتجنب تأخر الفصل.

ويلاحظ من الشكل أن هناك مساحة كافية بين منطقة الأعطال (Fault Area) ومنطقة التحميل الطبيعي (Loadinmg Area)، وكلما كبرت هذه المساحة كلما كان أفضل، وذلك من أجل تمييز الأحمال ذات التيار العالي عن الأعطال ذات التيار المنخفض.

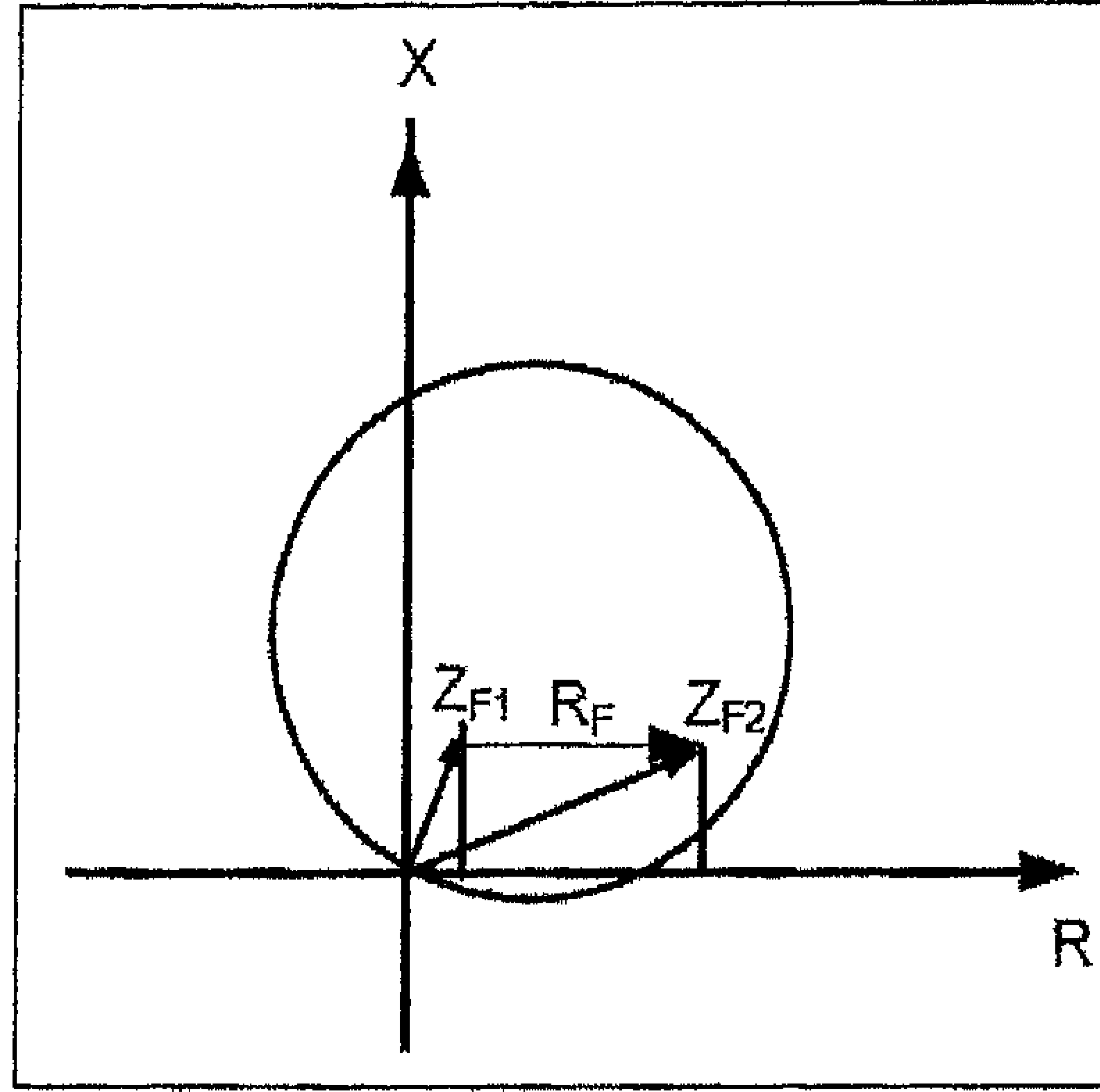
2.6.2 خصائص MHO Relay:

وحيث أن المتجه الذي يمثل Z_{Fault} دائماً يكون أقرب للمنحنى الرأسي كما سبق توضيحه في الشكل (7–2)، عند الحديث عن الـ Impedance Diagram فقد تم الاستفادة من هذه الخاصية في تصميم ما يعرف بـ MHO Relay الذي يظهر في الشكل (7–2).

وأبسط وأكثر أنواع الـ MHO Relays انتشاراً هو النوع المعروف باسم الـ Polarized MHO، حيث أن الأقل تأثراً بـ Power Swing، ويختلف هذا النوع عن Impedance Relay في استخدام إشارة جديدة تسمى $V_{Polarized}$ بالإضافة إلى V_F وI_F.

وهذا النوع حاول التغلب على مشكلتين: الأولى وهي وقوع نقطة العطل خارج حدود التشغيل بسبب وجود مقاومة الخطأ R_F، والمشكلة الثانية وهي أن الـ Impedance Relay يستجيب للأعطال في كافة الاتجاهات، وقد تم التغلب على هذه المشكلة بجعل حدود منطقة الحماية دائرة لكنها تمر بنقطة الأصل وبالتالي تميل أكثر إلى اليمين أكثر كما هو موضح في الشكل (8–2). لاحظ أن

النقطتين Z_{F1}, Z_{F2} اللتين ظهرتا في الشكل (7-2) وكانت إحداهما خارج منطقة الحماية قد أصبحتا الآن في الشكل (8-2) داخل منطقة الحماية، وهو ما يبرز الفارق الجوهري بين النوعين، ويؤكد نجاح هذا النوع في التغلب على مشكلة المقاومة R_F.



الشكل (8- 2) تغلب MHO Relay على معاوقة العطل

ولا يفوتنا ملاحظة أن منطقة العمل تقريباً داخل المربع الأول بالكامل مما يعني أنها بطبيعتها أصبحت لا تتأثر بالأخطاء في الاتجاه العكسي (المربع الثالث) مما يعني نجاحه أيضاً في التغلب على المشكلة الثانية.

2.6.3 خصائص Offest MHO:

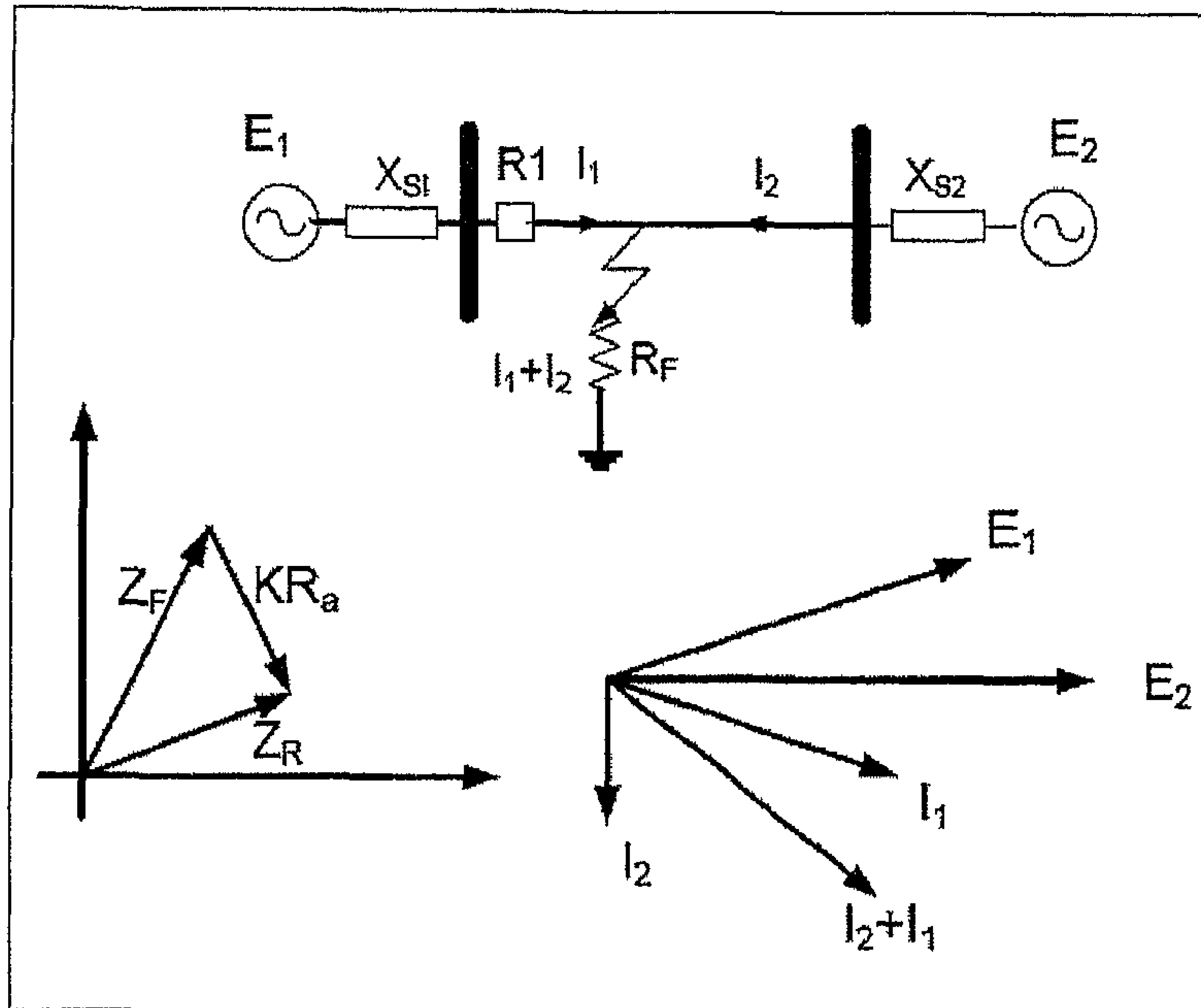
إذا تم تغذية خطأ من جهتين كما هو مبين في الشكل (8-2) فإن هنالك خطأ سيحدث في قياس Z_R إذا كان الخطأ خلال مقاومة، كما في المعادلات التالية:

$$\frac{V_R}{I_R} = Z_R = \frac{I_1 Z_R + (I_1+I_2)R_F}{I_1}$$

$$= Z_F + \frac{I_1+I_2}{I_1} R_F$$

$$= Z_F + KR_F$$

وما يهمنا هنا الإشارة إلى أن هذا الخطأ في قياس المعاوقة (KR_F) قد يؤدي في حالة زيادة التيار القادم من الجهة الأخرى Remote end إلى ترحيل متجه Z_R قليلاً إلى المربع الرابع كما في الشكل (2-9).



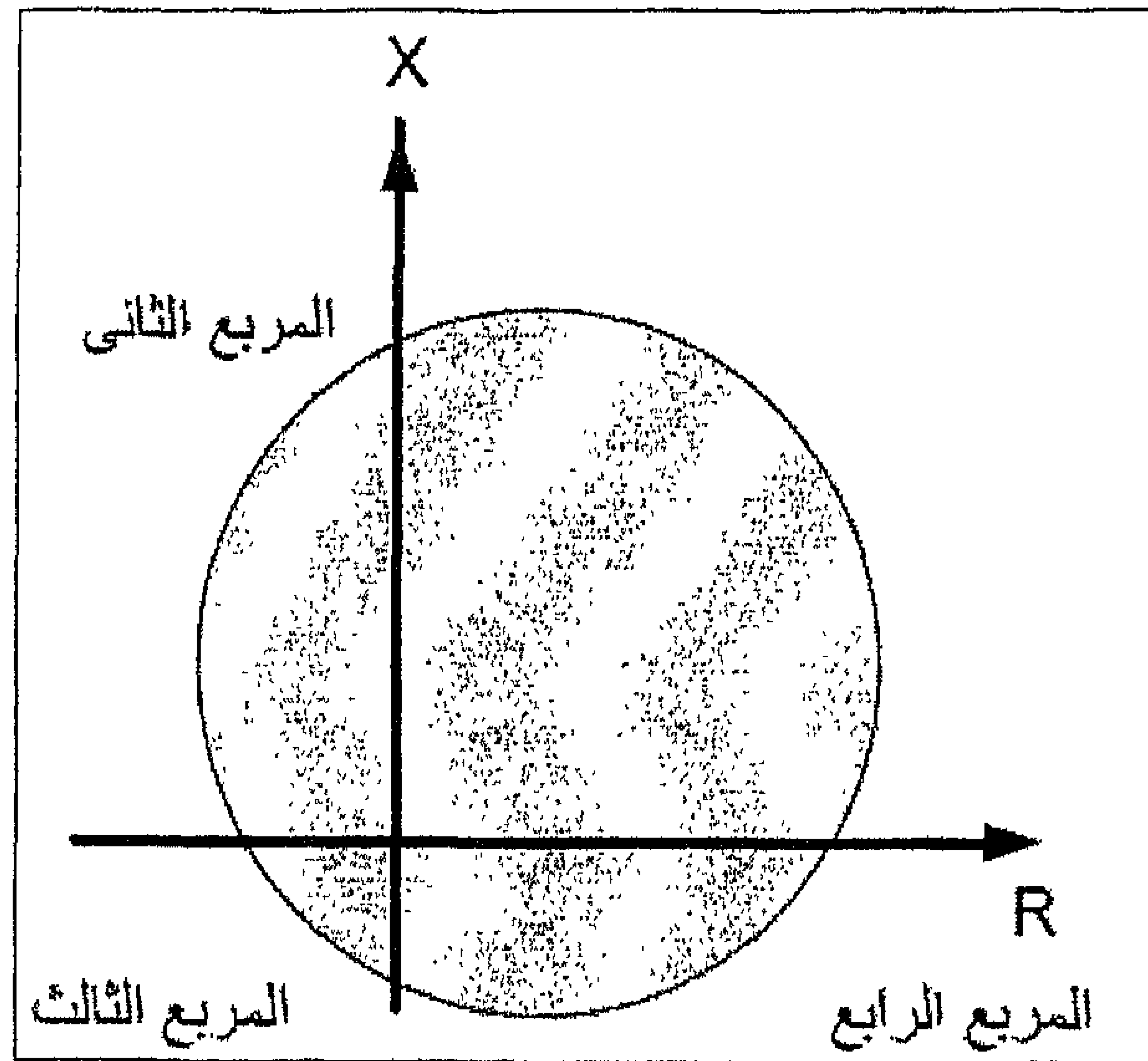
شكل (2-9) تاثير تغذية خطأ من الجهتين

وتزيد هذه المشكلة إذا كان مصدر تغذية العطل أضعف من المصدر الموجود في الـ Remote end، بمعنى أن $X_{S1} > X_{S2}$، أو أن اتجاه التغذية الأصلي كان من المصدر البعيد باتجاه المصدر القريب، عندئذٍ يمكن أن يتسبب ذلك في ترحيل متجه

الـ Z_R قليلاً إلى المربع الثاني وليس الرابع لأن إشارة الجزء المضاف بالخطأ تصبح سالبة بسبب انعكاس اتجاه التيار.

ومن هنا تظهر أهمية أن يكون هنا جزء من دائرة MHO في المربع الأول وجزء آخر في المربع الثاني.

ولزيادة وتحسين أداء Relay إذا كانت الشبكة تعاني من هذه المشاكل خاصة إذا كان المصدر ضعيفاً فيمكن استعمال النوع المعروف باسم Offset MHO والذي يتميز بأنه مرحل أكثر جهة المربعين الثاني والرابع نتيجة تحركه عند نقطة الأصل إلى أسفل كما في الشكل (10–2).

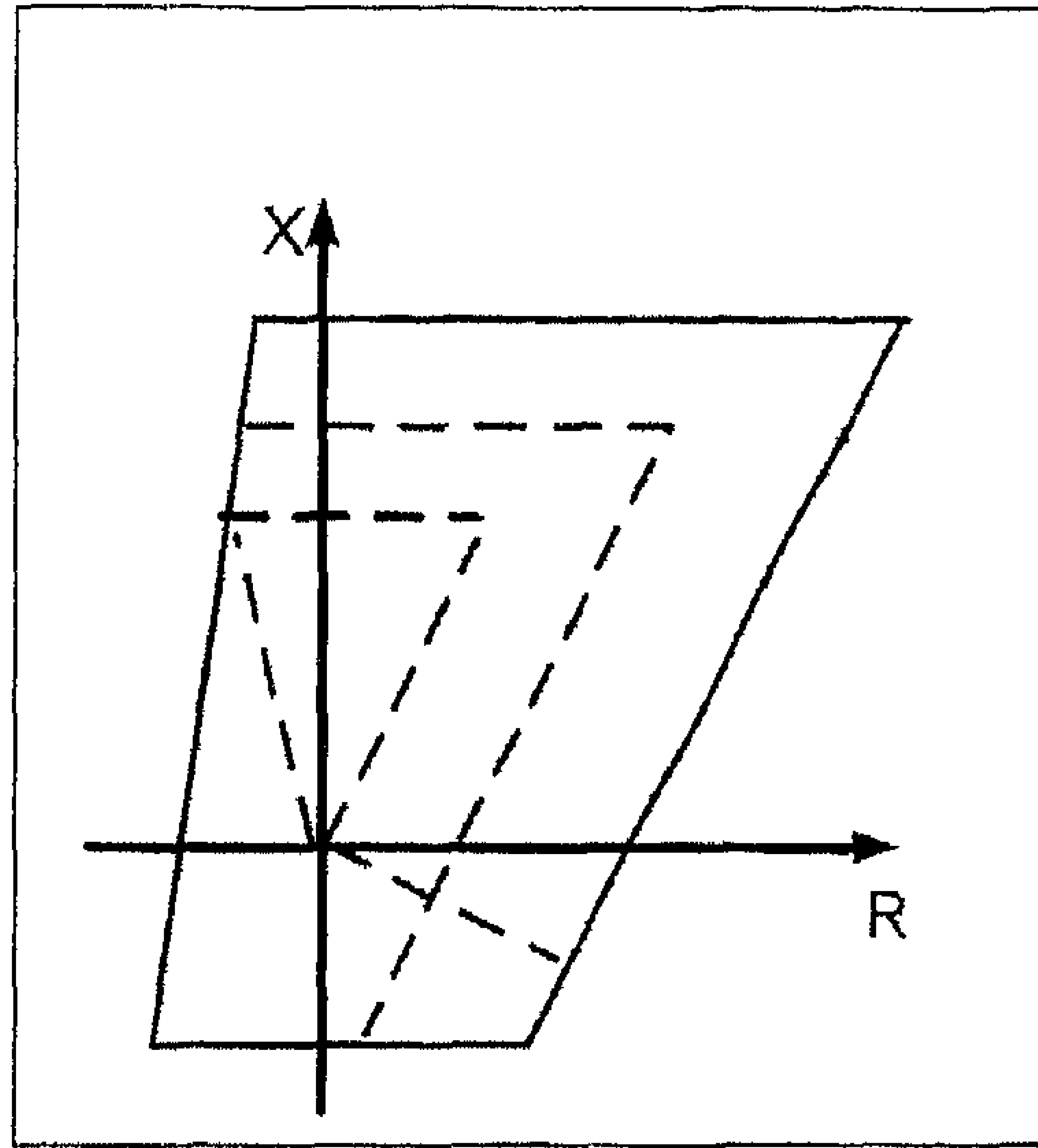


شكل (10–2) منطقة عمل Offset MHO

2.6.4 خصائص Quadrilateral Relay:

ويمثل أسلوب جديد للتغلب على مشكلة R_F وتأثيرها الخاطئ على القياسات، باستخدام الخصاص المضلعة التي تظهر في الشكل (11– 2). لاحظ هنا أن حدود مناطق التشغيل يمكن أن تتشكل بأشكال مختلفة، بمعنى أنه يمكن مثلاً

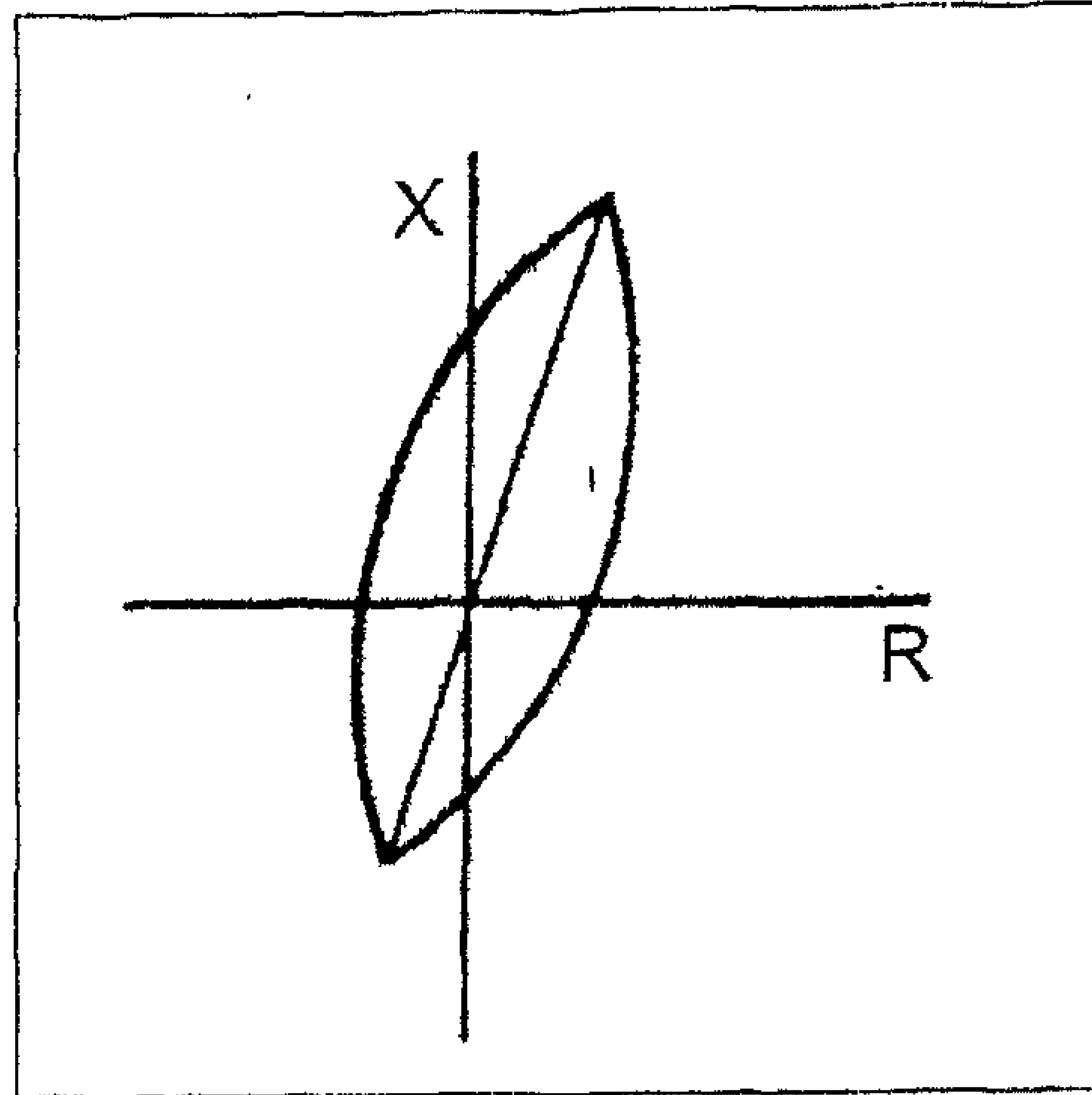
زيادة مدى المنطقة في اتجاه R-axis أو في اتجاه X-axis حسب ظروف التشغيل وطبيعة الأعطال في هذه المنطقة. وهو ما يعطي مرونة كبيرة للـ Relay لتفادي كل المشاكل السابقة. ومن ثم فليس غريباً الآن أن تعرف أن هذا النوع هو الأكثر انتشاراً واستخداماً في كافة الشبكات، أو على الأقل هو الأكثر استعمالاً في الوقاية ضد الأعطال الأرضية.



شكل (2-11) تقسيم المناطق في Quadrilateral Relay

2.6.5 خصائص Lonse Char:

في الآونة الأخيرة انتشرت أجهزة الحماية الرقمية وظهرت العديد من الأشكال التي تعطي خصائص أكثر دقة لجهاز الحماية، وإن أكثر ما يشغل بال الشركات الصانعة لهذه الخصائص هو زيادة المساحة الفاصلة بين Loding Area وبين Fault Area، والشكل (2-12) يظهر lonz charactarstic، حيث يتميز بأن منطقة العطل ضيقة جداً مما يعني زيادة المسافة بينها وبين منطقة الأحمال مقارنة بـ MHO التقليدي، حيث يمكن رسم هذه العدسة داخل MHO التقليدي.



شكل (2-12) منطقة عمل Lonse Char

2.7 حساب قيم المعاوقة في الأعطال المختلفة:

تعتمد طريقة حساب قيمة المعاوقة على حسب نوع الخطأ، وسنقوم بدراسة كيفية حساب قيمة Z_F في حالات الأعطال المختلفة.

2.7.1 حساب Z_F في حالة **Phase Faults**:

في حالة العطل من النوع Phase to Phase وكذلك في حالة العطل Three Phase فإن قيمة Z_F تحسب من قسمة الفرق بين جهدي Two Faulty Phases مقسوماً على الفرق بين Two Faulty Currents المناظرين لهما. على سبيل المثال في حالة حدوث عطل بين الوجهين A, B فإن المعاوقة الصحيحة يجب أن تحسب بقسمة الجهد V_{AB} على التيار I_{AB}. مع ملاحظة أنه من الخطأ الجسيم قسمة جهد أحد الـ Faulty Phases – to N على تيار نفس الـ Phase–N، حتى لو كان هذا الـ Phase هو أحد Two Faulty Phases، على سبيل المثال بقسمة الجهد V_{B-N} على التيار I_{B-N} رغم أن هذا الـ Phase فعلاً معطل، كما سيتبين لاحقاً بالمعادلات.

وقد تم تجميع الجهد والتيار على Phases المختلفة بدلالة Positive Sequence current في الجدول (1 – 2). وذلك تمهيداً لاستخدامها في حساب Z_F.

جدول (1– 2) يبين قيم الجهد والتيار لحساب المعاوقة في خطأ على A – B – C و A – B:

Fault Quantity	Three Phase Fault A – B – C	Phase to Phase Fault B – C
I_a	I_1	0
I_b	$a^2 I_1$	$(a^2 - a)I_1$
I_c	$a I_1$	$(a - a^2)I_1$
V_a	$Z_{L1} I_1$	$2(Z_{S1} + Z_{L1})I_1$
V_b	$a^2 Z_{L1} I_1$	$(2 a^2 Z_{L1} - Z_{S1})I_1$
V_c	$a Z_{L1} I_1$	$(2a Z_{L1} - Z_{S1})I_1$

وسوف نقوم بذكر المعادلات المستخدمة في حساب Z_1 Positive Sequence Impedance في حالات الأعطال المختلفة.

Phase to Phase (BC)

$$\frac{V_{bc}}{I_{bc}} = \frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{2(a^2 - a)Z_1 I_1}{2(a^2 - a)\ I_1} = Z_1$$

Three Phase fault

$$\frac{V_{bc}}{I_{bc}} = \frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{(a^2 - a)Z_1 I_1}{(a^2 - a)\ I_1} = Z_1$$

لاحظ أن قيمة V_{bc} وقيمة I_{bc} في المعادلتين السابقتين تختلفان حسب نوعية العطل وهل هو Phase to Phase أم هو 3 – Phase. لكن باستخدام القيم الصحيحة من الجدول السابق يمكن الحصول على قيمة Z_F الصحيحة في كل الأحوال وتساوي دائماً Z_1.

لاحظ أيضاً أن استخدام فكرة قسمة فرق الجهد على فرق التيار قد ساهم في تجنب مشكلة أن تعتمد قيمة Z_F التي يحسبها الـ Relay على قيمة Z_{source}، التي لم تظهر في المعادلات السابقة، فلو كنا اعتمدنا على قسمة V_B على I_B فإن هذا كان سيؤدي إلى قيمة خاطئة تعتمد على Z_S كما يتضح من المعادلة التالية:

$$Z_F = Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{a^2(2I_1Z_{L1}) + (a^2 + a)I_1Z_{S1}}{(a^2 - a)I_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2-1)$$

ويمكن بعمليات تبسيط المعادلة السابقة حتى نصل إلى أن تضعها على الصورة التالية:

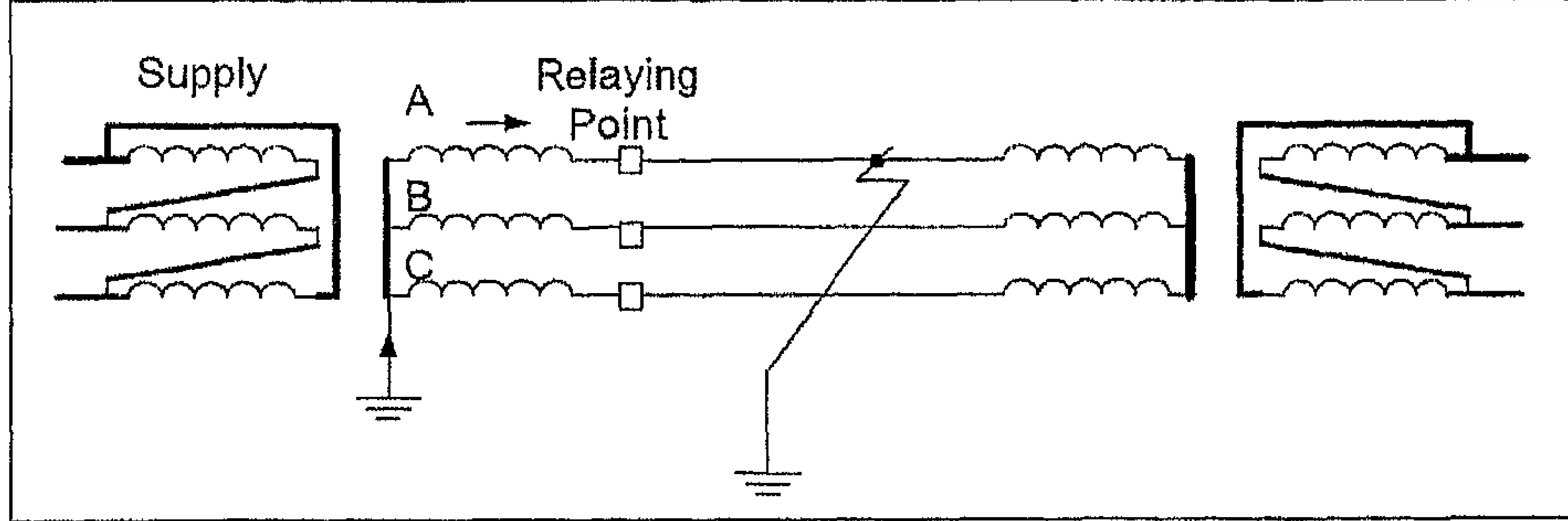
$$Z_B = \left|\frac{2}{\sqrt{3}} \measuredangle 30^o\right|. Z_{L1} + \left|\frac{1}{\sqrt{3}} \measuredangle - 90^o\right|. Z_{S1}$$

والجزء الثاني من المعادلة السابقة يثبت خطأ الاعتماد على قسمة V_B على I_B رغم أن هذا الـ Phase مشترك في العطل بسبب ظهور Z_S في المعادلة وهي قيمة متغيرة كما هو معلوم، بمعنى أن جهاز الحماية يمكن أن يعطي قيمة مختلفة لنفس العطل ويعود ذلك لظروف التشغيل، وهذا مالا نريده، لذا فالصحيح هو تقسيم فرق الجهد على فرق التيار كما ذكرنا سابقاً.

2.7.2 حساب الـ Z_F في حالات Earth Faults:

يتوقف اختيار المعادلات المناسبة لقياس Z_F لهذه النوعية من الأعطال على عدة عناصر أهمها طريقة Earthing وسنشرح هنا كيفية استنتاج المعادلات المناسبة في حالة واحدة هي الأشهر والأكثر انتشاراً في الشبكات، وهي الحالة التي

تظهر في الشكل (2–13). حيث نقطة الـ Earthing خلف جهاز الحماية من جهة الـ Supply.



الشكل (2–13) نقطة التأريض خلف المرحل

لأول وهلة قد يبدو أن قيمة الجهد عند أطراف جهاز الحماية تساوي حاصل ضرب التيار في قيمة المعاوقة المقاسة من نقطة الخطأ حتى المرحل. وهذا التبسيط صحيح ولكن في حالة واحدة فقط، هي عند عدم وجود R_F. أما إذا كان الخطأ خلال R_F فلن نستطيع التبسيط بالشكل السابق لأنه سوف يكون في الواقع خطأ، كما تبينه المعادلات التالية:

$V_a = I_1 * Z_1 + I_2 * Z_2 + I_o * Z_o$............ (2 – 2)

$I_a = I_1 + I_2 + I_o$ .... (2 – 3)

$I_N = I_a + I_b + I_c = 3I_o$............................ (2 – 4)

وإذا أخذنا في الاعتبار أن Z_1 تساوي Z_2، وإذا سمينا ثابت جديد هو K يساوي:

$K = Z_o/Z_1$ .... (2 – 5)

فإننا بالتعويض من المعادلة 3–2 في المعادلة 2–2 آخذين في ا لاعتبار المعادلتين 5 & 4 – 2 يمكن بسهولة أن نثبت أن:

$$V_a = Z_1\{I_a + (I_a + I_b + I_c) * \frac{K-1}{3}\} \ldots\ldots\ldots (2-6)$$

ويقسمة V_a على I_a، سنجد أن المعاوقة Z_R التي سيحسبها الـ Relay لن تساوي Z_1، وإنما في الواقع ستساوي:

$$Z_R = (1 + \frac{K-1}{3})\, Z_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-7)$$

وهذا يعني أنه للحصول على قيمة Z_F الحقيقية يلزم عمل نوع من التصحيح لقيم التيار والجهد الداخلة للمرحل وهو ما يعرف بالـ Compensation.

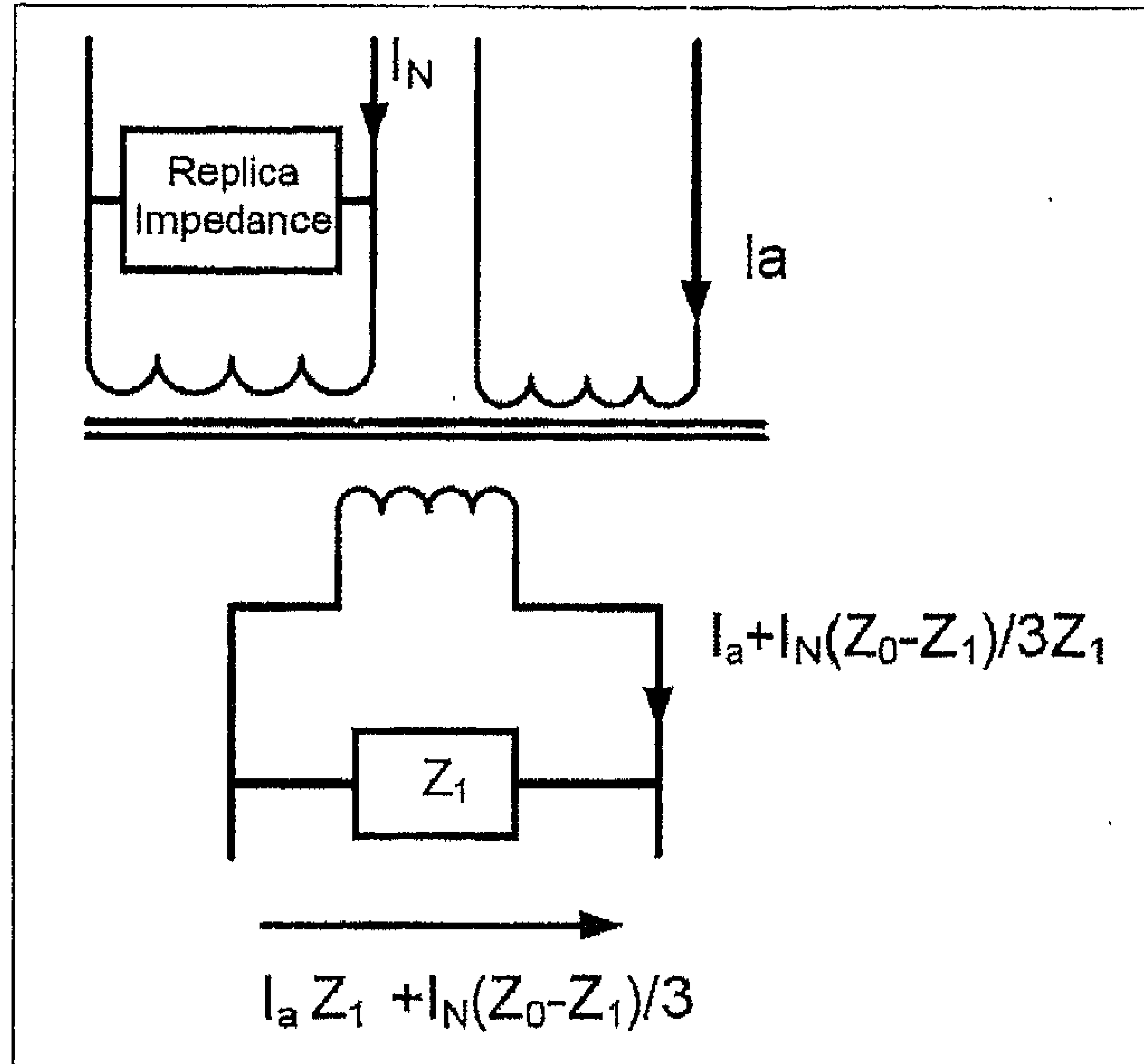
2.8 تصحيح قيم التيار عند Earth Faults:

إن هذه العملية تسمى Residnal Compensation، حيث تبين لنا في المعادلة (7– 2) أنه لو كان تيار المرحل يساوي:

$$I_a + \frac{I_N}{3}\left[\frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}\right] = I_a + I_N\left[\frac{K-1}{3}\right]$$

فإننا سوف نحصل على قيمة Z_1 مباشرة من قسمة V_a على قيمة التيار الجديد المصحح. وهذا الأمر سهل للغاية عند استخدام أجهزة حماية رقمية لأنه يمكن بسهولة تغيير قيم التيار سواءً بزيادة أو نقصان من خلال تغيير في Software الجهاز.

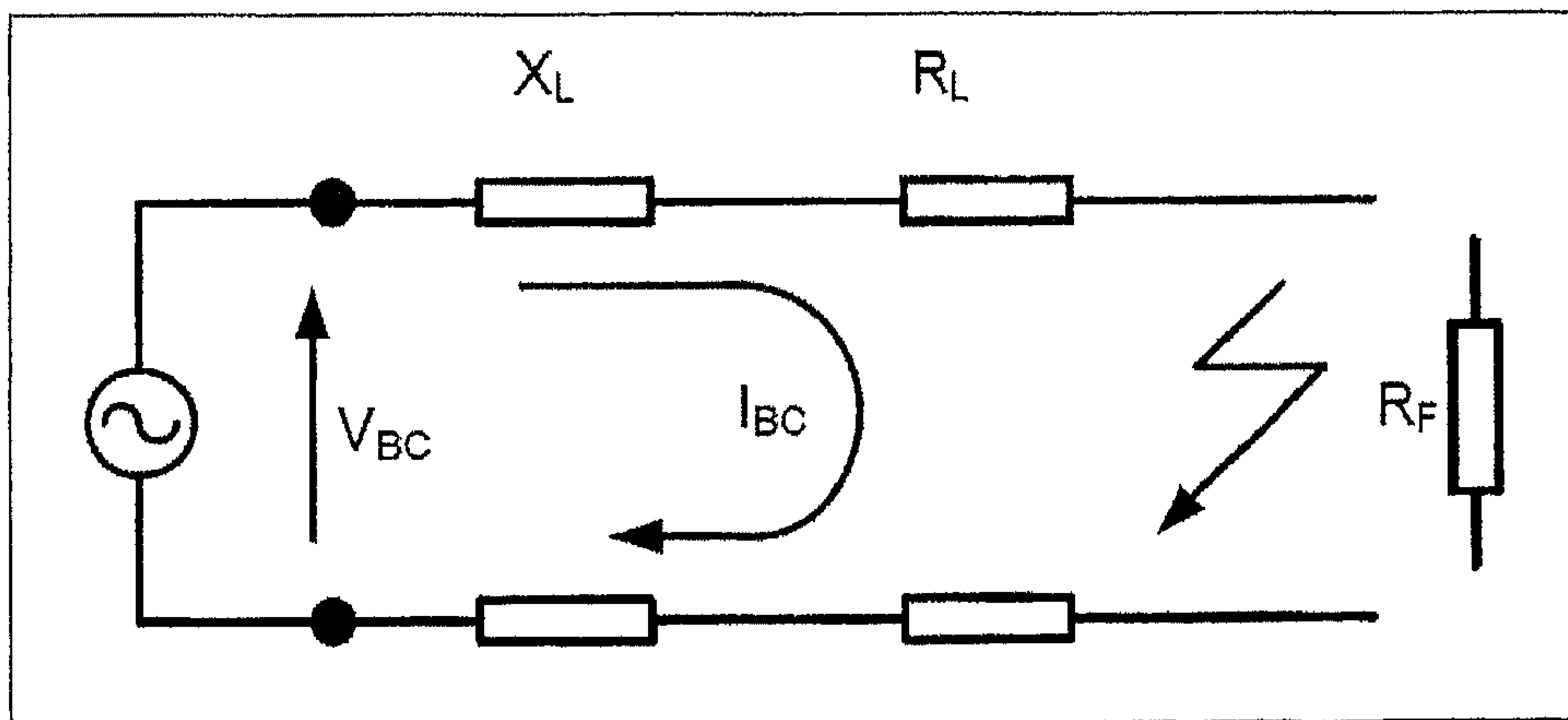
وبعض الأجهزة تستخدم ما يعرف بـ Replica Impedance في دوائر قياس التيار كما هو موضح في الشكل (14–2)، حيث أن التيار الذي يدخل إلى المرحل لا يكون هو التيار المقاس مباشرةً وإنما يكون ناتجاً من مرور التيار من خلال هذه Impedance الجديدة. والمعاوقة الناتجة من عملية الحساب ستكون مصححة.



الشكل (2–14) وضع معاوقة في محول التيار لتصحيح قيم التيار

2.8.1 تأثير مقاومة العطل R_F على قيمة Z_F المحسوبة:

لا بد لنا من دراسة تأثير R_F على قيم Z_F المقاسة في حالة Phase – to – Phase Fault المبينة في الشكل (2–15).



الشكل (2–15) تأثير مقاومة العطل على قيم المعاوقة المحسوبة

بتطبيق نفس المعادلات السابقة مع أخذ R_F بالاعتبار يمكننا إعادة كتابة المعادلة بالصورة التالية:

$$Z_{ph-ph} = \frac{2(R_L I_{BC} + jX_L I_{BC}) + I_{BC} R_F}{I_{BC}} \quad .... (2-8)$$

ومنها نصل إلى أن قيمة المعاوقة Z_F التي يراها الـ Relay في حالة Phase – to – Phase هي:

$$Z_{ph-ph} = R_L + jX_L + \frac{R_F}{2} \quad .... (2-9)$$

وتعتبر نتيجة مثيرة للاهتمام حيث تبين بأن جهاز الحماية لا يرى سوى نصف قيمة R_F فقط في حالة Phase–to–Phase، لا بد لنا من أخذه في الاعتبار عند ضبط Zone Reach في اتجاه R داخل أجهزة الحماية المخصصة للحماية من أعطال Phase – to – Phase.

2.8.2 مقاومة الشرارة:

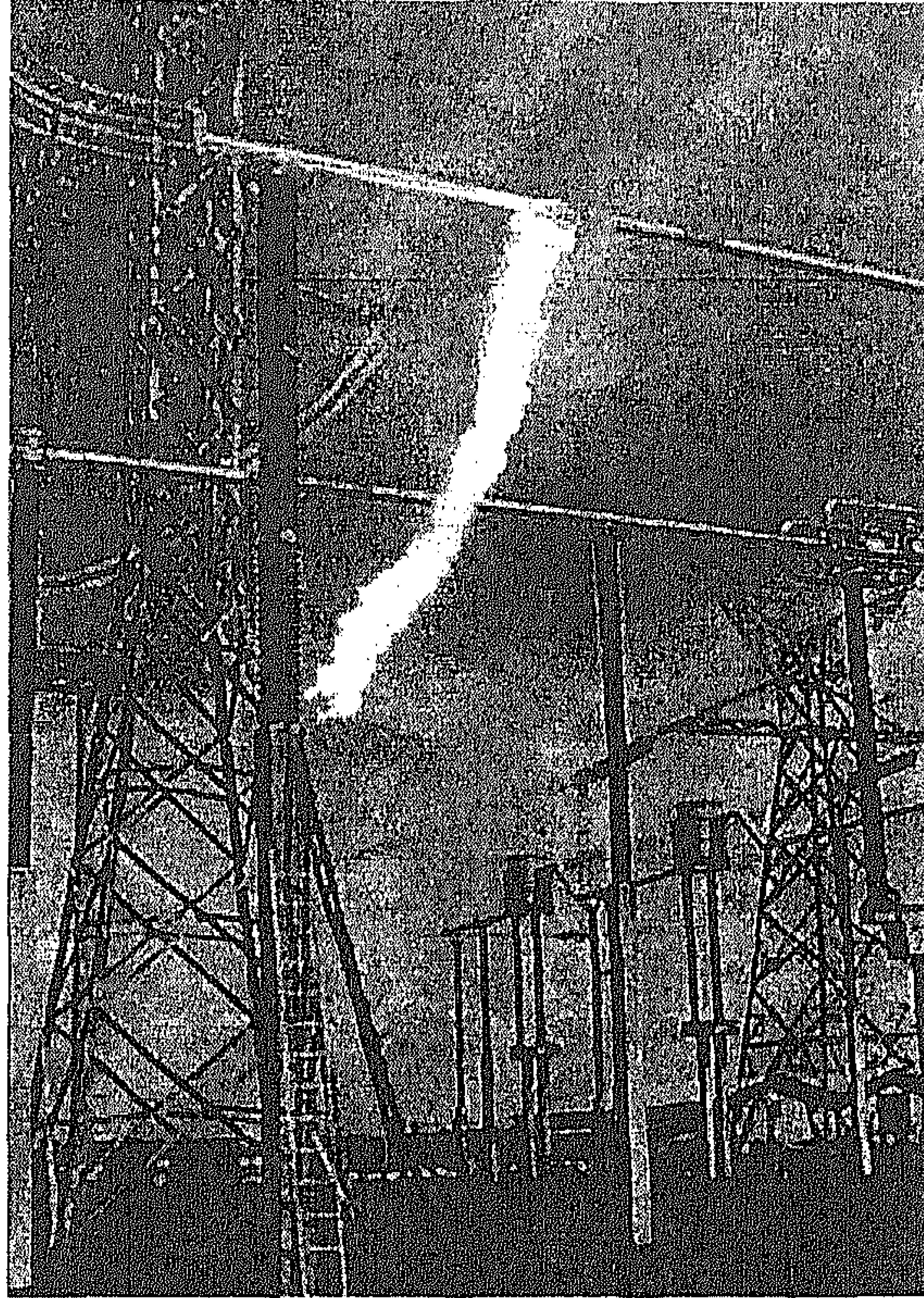
ونذكر هنا أن مقاومة العطل R_F تتكون بسبب الشرارة الناتجة عن العطل بالإضافة إلى مقاومة تأريض الأبراج. ومقاومة تأريض الأبراج تتراوح قيمتها من 1 إلى عدة مئات من الأوم. ويمكننا حساب مقاومة الشرارة من خلال أخذ المعادلات التقريبية التالية:

$$R_{arc} = \frac{8750}{I^{1.4}}$$

$$R_{arc} = \frac{350}{I}\ \Omega/\text{Ft of Arc}$$

$$R_{arc} = \frac{3000}{I^{1.3}}$$

ونلاحظ هنا انخفاض تأثير مقاومة الشرارة كلما ارتفع تيار العطل ويمكن إهمالها إذا زاد التيار عن 4 KA. ومن جميع المعادلات السابقة نوجد قيمة مقاومة الشرارة بوحدة الأوم لكل قدم طولي من طول الشرارة. والصورة (1–2) تبين مقدار الشرارة التي يمكن أن تنجم عن العطل.



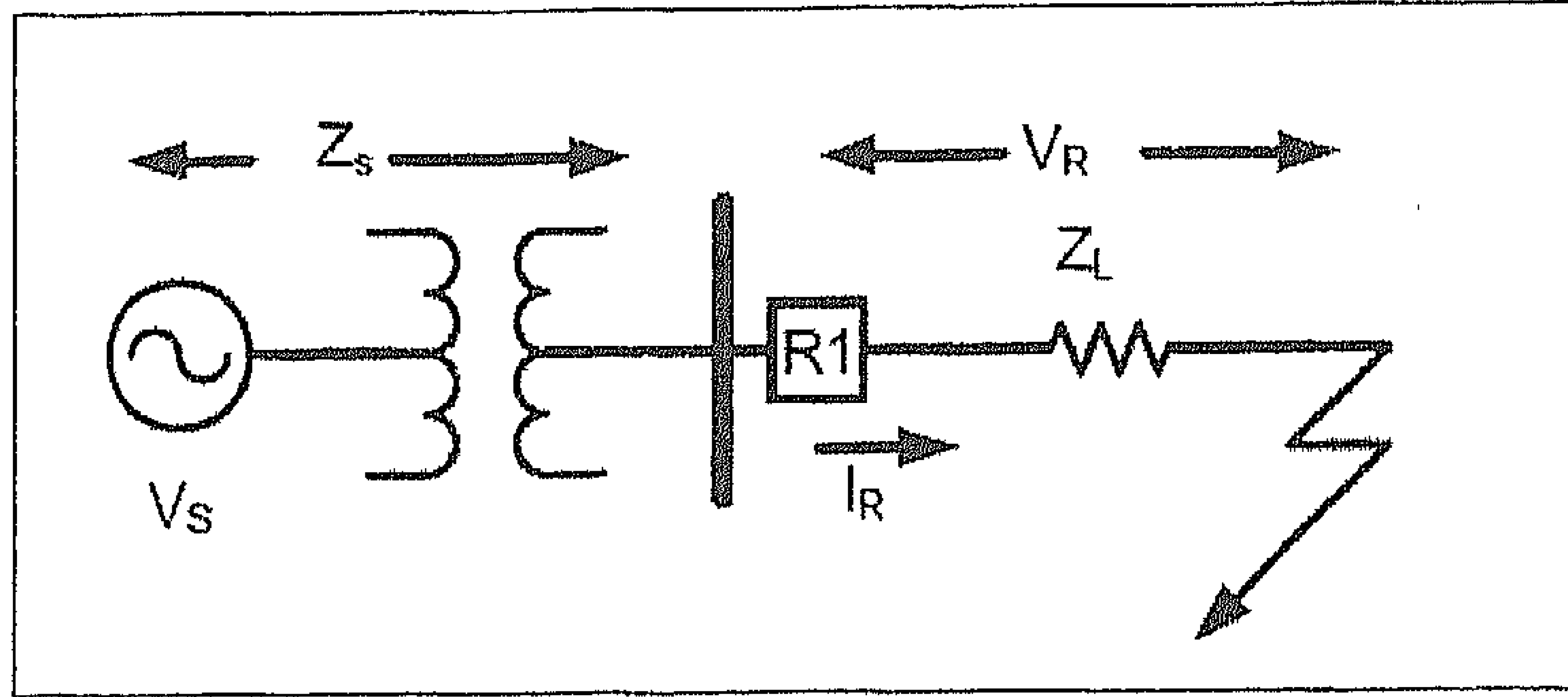
الصورة (1– 2) صورة حقيقية لشرارة على خط نقل

2.8.3 تاثير تغيير المصدر (SIR) على قيمة Z_R:

ومن الشكل (16–2) فإن الجهد الذي يقرؤه جهاز الحماية يساوي:

$$V_R = I_R * Z_L = \frac{V_s}{Z_S + Z_L} * Z_L = \frac{V_S}{\frac{Z_S}{Z_L} + 1} \;\ldots\ldots.\; (2-10)$$

تعرف النسبة (Z_S/Z_L) بـ Source Impedance Ratio, SIR وتتراوح قيمتها بين قيمة أقل من الواحد إلى حوالي 30. وكلما صغرت كما دل ذلك على قوة المصدر.



الشكل (2–16) تأثير قوة المصدر على المعاوقة

وتجدر الإشارة إلى أن Z_S يتم حسابها بدلالة Short Circuit Capacity للمصدر من خلال المعادلة التالية:

$$Z_s = \frac{(kV^2)}{MVA_{SC}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-11)$$

ويظهر من المعادلة (2–11) أن الجهد الذي يقيسه الجهاز يعتمد على SIR فكلما زادت كلما قلت قيمة الجهد الذي يراه Distance Relay، وهذا بسبب مشاكل الجهاز لأنه إذا كانت قيمة الجهد الذي يظهر على أطراف الجهاز صغيرة وربما لا يشعر الجهاز بهذا الخطأ، ولذا فإن الشركات المصنعة تحدد حدود قدرة الأجهزة وكفائتها في اكتشاف الأخطاء بدلالة اتساع مدى SIR والذي يمكن للجهاز اكتشاف الأخطاء خلاله.

2.9 استخدام Ploarization Voltage:

في حالة إذا كان العطل قريباً جداً فإن الجهد الذي سيقيسه الجهاز أيضاً سيكون صغيراً مهما كانت قوة المصدر، ولذلك ففي أجهزة الوقاية الحديثة إذا كان العطل قريباً جداً والجهد صغير فإن جهاز الوقاية يستخدم قيم الفولت المخزنة بالذاكرة قبل حدوث العطل مباشرة في تصحيح الخطأ. وهو ما يعرف بـ Polarization Voltage or Memory Characteristic.

وليس الغرض من الـ Polarization Voltage استخدامه في حساب قيمة Z_F، فبالطبع ستكون القيمة خاطئة، لكننا نستخدم هذا الجهد فقط لنحدد اتجاه العطل، وهل هو أمامي أم خلفي؟ لمعلوم أنه لتحديد الاتجاه فإننا نحتاج لتيار العطل – وهو متاح لنا – ولمعرفة الزاوية بينهما نحتاج أيضاً إلى الجهد، لذا نستخدم آخر قيمة جهد متاحة لنا، عند ذلك إذا ثبت أن الخطأ أمامي في ظل هذا الانهيار في الجهد فسيتم الفصل فوراً، ولن نحتاج إلى قيمة الجهد الدقيقة.

2.9.1 تحديد اتجاه العطل:

إن تحديد اتجاه العطل وهل هو أمامي أم خلفي من الأمور الهامة في أجهزة الـ Distance Relay، وقد سبق أن تم شرح أساسيات الحماية الاتجاهية في هذا الكتاب، ولكننا نسترجع هنا فقط بعض الأمور المتعلقة بالحماية المسافية.

عند حدوث خطأ أمامي Forward Fault فسوف يندفع التيار للأمام في اتجاه نقطة العطل، حيث تعتمد قيمة Phase Angle بينه وبين جهد الـ Phase على قيمتي R وX المقاستين من مكان المرحل حتى نقطة الخطأ، وغالباً في الشبكات الهوائية فإن X_{Line} تكون أكبر بكثير من R_{Line}، وبالتالي فإن زاوية الخطأ تكون عادةً 80 درجة أو قريبة من ذلك.

ففي حالة الأعطال الأمامية على الكابلات فإن حدوث Short Circuit يسبب نقصاً في قيمة X المكافئة، وغالباً ما تكون زاوية العطل في خطوط الكابلات في حدود 20 درجة فقط، وقد تصل إلى الصفر غذا كان العطل قريباً جداً وخلال مقاومة.

أما في حالة الأعطال الخلفية Reverse Fault فإن التيار عموماً يتجه للخلف وتكون زاويته تقريباً 180 درجة بالنسبة لجهد نفس الـ Phase، وبالتالي فإن المعاوقة Z_R المقاسة بواسطة جهاز الحماية تكون زاويتها في منطقة المربع الثالث من مخطط $R - X$ بمعنى أنها في منطقة منع الاشتغال Blocking Zone.

2.10 المشاكل التي تواجه Distance Relay:

إن الـ Distance Relay رغم جميع المحاولات السابقة للوصول إلى أداء جديد لا يزال هنالك عدة مشاكل تؤثر على أدائه، ومن أبرزها:

1. Over – Reach.
2. Parallel Lines.
3. Under – reach.
4. In – Feed.

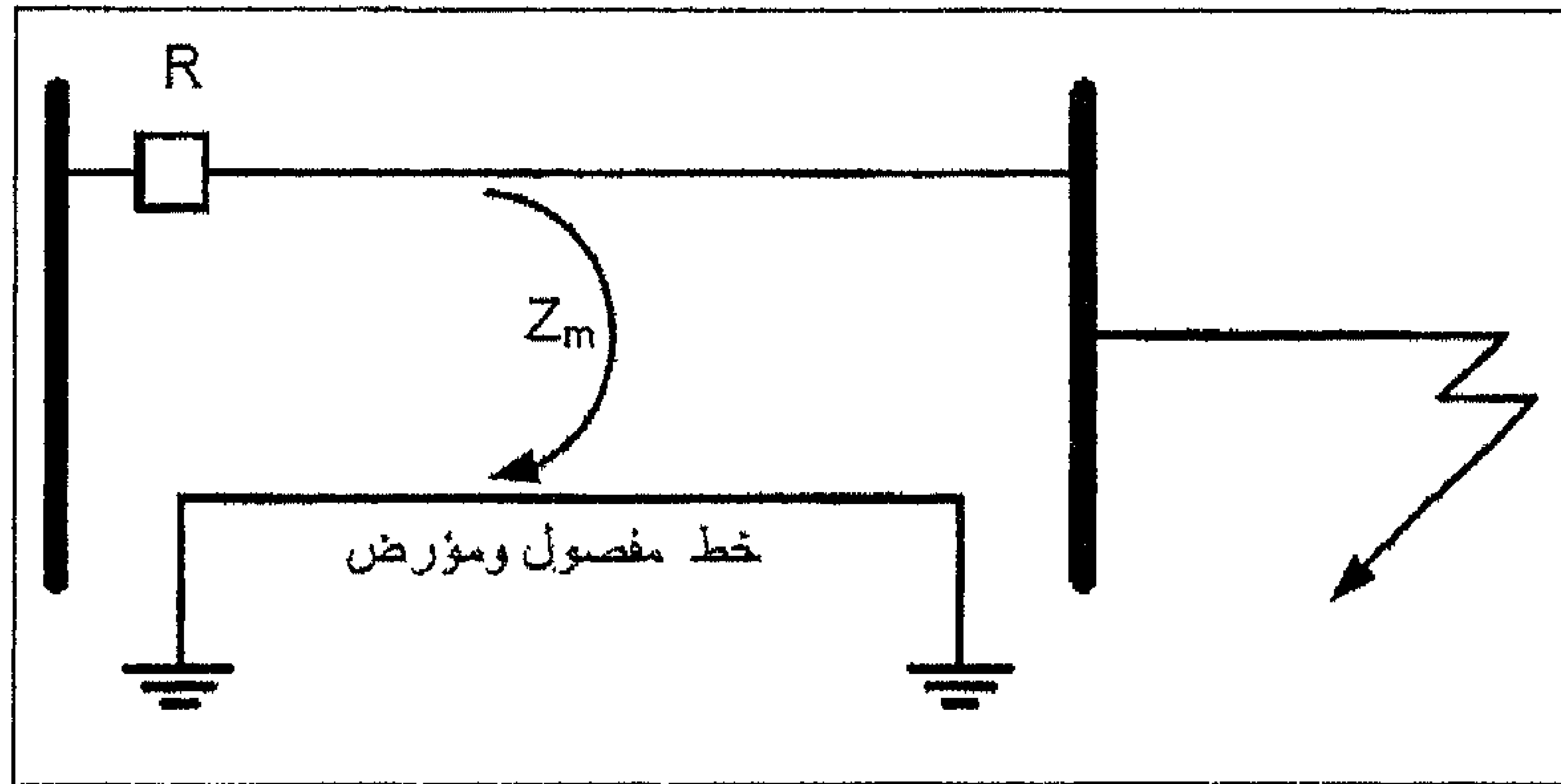
2.10.1 مشكلة Over – reach:

نتيجة أخطاء أجهزة القياس التي أشرنا إليها من قبل فإن جهاز الوقاية المسافية يمكن أن يرى العطل البعيد كأنه قريب (إذا كان الخطأ بالسالب)، بمعنى أن الجهاز يرى معاوقة أصغر من المعاوقة الحقيقية، وفي هذه الحالة نقول أن الجهاز قد حدث له Over – reach بمعنى أنه صار يمكنه أن يغطي بالخطأ مدى أكبر من المدى الحقيقي له، لأنه طالما أن الخطأ الذي يضاف إليه بالسالب فسيظل الجهاز يعتقد أن العطل لا يزال في مداه الطبيعي.

2.10.2 مشكلة الخطوط المتوازية Parallel Lines:

من أشهر المشاكل التي تصنف على أنها من مشاكل Over – reach هي مشكلة خروج أحد خطين متوازيين من الخدمة وبقاء الآخر. فقبل خروج هذا الخط كانت المعاوقة التي يراها كلا الـ Relay تتأثر بما يعرف بـ Mutual Impedance بين الخطين ويرمز لها بالرمز Z_m في الشكل (2–17). ويطرح تأثيرها من الحسابات عند ضبط الجهاز.

الآن، عند خروج أحد الخطين – دون تعديل في قيم الضبط – يظل الجهاز الذي بقي في الخدمة يطرح قيمة Z_m من قيمة معاوقة أي عطل، رغم أن Z_m لم يعد لها وجود، وبالتالي فقد يرى الجهاز أعطال المرحلة الثانية كأنها مرحلة أولى، ومن ثم فنحن أمام مشكلة Over – reach لأن الجهاز يرى معاوقة أقل من الحقيقية.



الشكل (2–17) تأثير فصل أحد الخطين المتوازيين

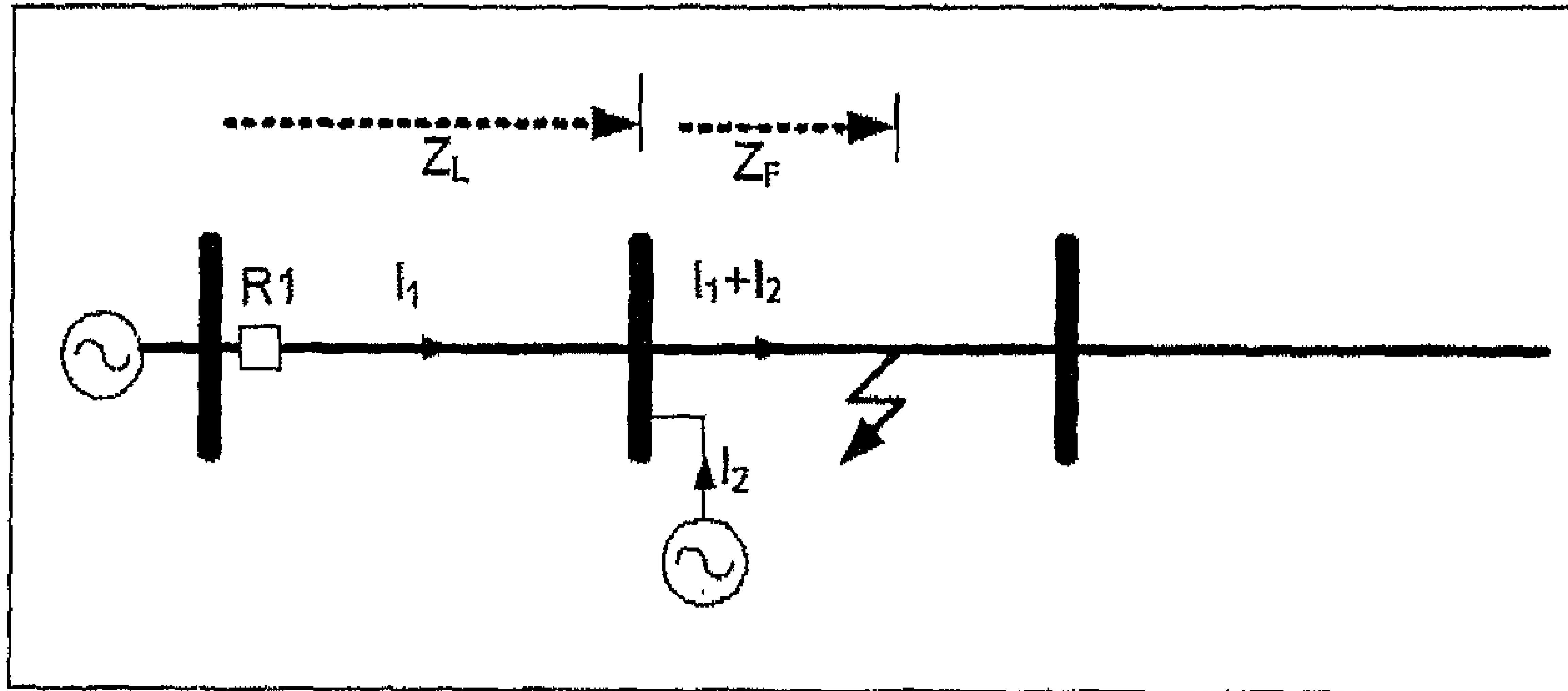
وتجدر الإشارة هنا أنه في أجهزة Digital Relays يتم حل هذه المشكلة ببساطة من خلال تخزين مجموعتين من قيم الـ Setting، تكون أحدهما مناسبة في حال الخطين معاً في الخدمة، والأخرى في حال خروج أحد الخطين من الخدمة، ويتم تفصيلها بمجرد خروج أحد الخطين.

2.10.3 مشكلة Under – Reach:

والعكس إذا رأى الجهاز العطل القريب كأنه بعيد (إذا كان الخطأ في القياس موجباً) بمعنى أن المعاوقة Z التي يراها الجهاز أكبر من المعاوقة الحقيقية، وفي هذه الحالة نقول أن الجهاز قد حدث له Under – reach بمعنى أنه لم يعد قادراً على التغطية الصحيحة إلا لمدى أصغر من الطبيعي. وخارج هذا المدى القصير سيرى الجهاز – بالخطأ – أن العطل خارج تغطيته مما يعني أنه يعاني من مشكلة Under – reach.

2.10.4 مشكلة In – Feed:

ومن أشهر أمثلة Under – Reach وجود تغذية إضافية عند نهاية الخط Problem Remote In – Feed، كما هو موضحة في الشكل (2–18).



الشكل (2–18) مشكلة In – Feed

والجهد الذي يظهر عند طرف الجهاز R_1 سوف يتأثر بالتيارين I_1 وI_2 ويساوي:

$$V_R = I_1 * Z_L + (I_1 + I_2) * Z_F \text{ .... } (2-12)$$

بينما التيار الذي يقاس عند طرف جهاز الوقاية يساوي I_1 فقط وعند قسمة V_R على I_R ستكون المعاوقة التي يراه الجهاز تساوي:

$$Z_R = Z_L + Z_F + (I_2/I_1)Z_F$$

وهي أكبر من المعاوقة الحقيقية التي كان ينبغي أن تقاس والتي تساوي $Z_L + Z_F$. والمثال الآخر لهذه المشكلة هو High Impedance Fault حيث يرى الجهاز معاوقة أكبر من المعاوقة الحقيقية وبالتالي لا يستطيع أن يغطي بدقة المدى الكامل له.

2.11 طرق البدء في اكتشاف الأخطاء:

حتى يبدأ جهاز الحماية المسافية في العمل فلا بد من وجود إشارة تنبيه إلى حدوث خطأ Starting Function وتسمى أيضاً مرحلة Detection. وهذا الأسلوب يستخدم في أجهزة الوقاية من النوع الالكتروميكانيك فقط، أما الأجهزة ن النوع Digital فهي لا تحتاج لذلك وإنما تقيس المعاوقة بصورة مستمرة طوال الوقت حتى تنخفض قيمتها.

وتتنوع الأساليب المستخدمة في العمل في مرحلة Starting في هذه الأجهزة، لكن بصفة عامة لا بد من توافر بعض الشروط في كل الأساليب المستخدمة. ومن أهم هذه الشروط أن يكون للأسلوب المستخدم القدرة على تمييز Phase – Faults، وخاصة الأعطال من النوع Single Phase، حيث سيترتب على هذا النوع من الأعطال فصل Faulted Phase فقط بواسطة Single Pole Tripping، إن وجد.

وحتى إذا لم يستخدم هذا النوع من الـ Breakers فإنه من الضروري في مرحلة Starting أن يتم تحديد نوعية العطل، وهل هو على وجه واحد أو اثنين أو

أكثر، لأن ذلك سيترتب عليه أمر هام جداً وهو تحديد نوعية المعادلات المستخدمة في حساب معاوقة العطل Z_F كما سبق أن بيننا.

وعموماً هنالك ثلاث طرق أساسية لبدء أجهزة الحماية الأساسية هي:

1. متابعة ارتفاع التيار.
2. متابعة انخفاض الجهد.
3. متابعة تغيير قيمة المقاومة.

2.11.1 Overcurrent Starting:

إن هذه الطريقة هي الأسهل والأكثر انتشاراً. وتستخدم مع الخطوط التي تكون فيها Z صغيرة في الوضع Normal، وغالباً يتم ضبطها على قيم محددة لتيار البدء مع مراعاة استخدام قيمتين في حالة Parlled Lines، والسبب يعود إلى أن التيار سيتضاعف بصورة طبيعية في حالة خروج أحد الخطين من الخدمة فلا بد لنا من أخذ هذه النقطة في عين الاعتبار.

2.11.2 Under Voltage Starting:

وتستخدم هذه الطريقة إذا كان Short Circuit Current صغيراً خاصة في حالة Weak System أو في حالة التأريض باستخدام High Impedance في المحولات والمولدات، ففي مثل هذه الحالات، يصبح تيار SC صغيراً ولا يكفي لعمل Starting، وعندها نستخدم الانخفاض في الجهاد كعامل مساعد في اكتشاف الأعطال. مع الأخذ في الاعتبار حالة خاصة وهي حالة فصل الخط تماماً Shut down حيث يجب تجنب أن يخدع الجهاز ويقوم ببدء خاطئ في هذه الحالة. ولمنع حدوث ذلك فإن الجهاز يعتبر الانخفاض في الجهد مؤشراً على العطل بشرط وجود حد أدنى من التيار Minimum Current. ومن ثم فعند حدوث ارتفاع طفيف في التيار فإن الجهاز يختبر: هل انخفض الجهد إلى حوالي 70٪؟ فإذا كان الإجابة

نعم، يتم بدء عمل Distance Relay، مع ملاحظة أنه إذا كان الارتفاع في التيار كبيراً فغالباً لا ينظر لقيمة الجهد كما في الطريقة الأولى.

2.11.3 Under Impedance Starting:

من الأنواع المشهورة أيضاً في طرق حث أجهزة الوقاية المسافية على البدء ما يسمى Under Impedance، وفي هذه الحالة فإن Relay بالإضافة إلى الدوائر الثلاثة التي تمثل حدود Protective Zones فإنه يزود بدائرة رابعة خارجية أكبر منهم وأوسع والتي سبق الحديث عنها وهو المعروفة بـ Zone − 4. وبمجرد أن تقع قيمة Z المحسوبة داخل حدود هذه الدائرة الكبيرة يبدأ الجهاز في Starting: فإما أن تنتقل نقطة التشغيل إلى إحدى الدوائر الداخلية الثلاث (حالة العطل) أو تظل في الخارج فيتم عمل Blocking أي منع التشغيل مثل حالة Power Swing. وتتميز أجهزة الوقاية الرقمية بالقدرة على تشكيل دائرة Starting بطرق هندسية متنوعة وكأنك تستخدم مقص في تفصيلها وذلك لتعين الجهاز على تجنب التشغيل الخاطئ في حالة الحمل الثقيل Heavy Loading مثلاً.

- ملحوظة:

تعتبر الـ Power Swing من الظواهر التي تسبب مشاكل لأجهزة الـ Distance Relays، فأثناء حدوثها يمكن أن تنخفض قيمة Z التي يراها الـ Relay إلى أقل من حدود Zone − 1، لكنها سرعان ما تزيد مرة أخرى، ثم تعود وتنخفض مرة أخرى، وهكذا. مما يعني أن الجهاز سوف يخدع ويرسل إشارة فصل خاطئة. ويندمج الجهاز من التشغيل الخاطئ عن طريق تتبع معدل التغيير في Z_R.

2.12 استخدام Pilot Schemes لتسريع الفصل:

إن المشكلة التي يمكن أن تنجم في حال اعتمد Distance Relay على المراحل المبرمجة داخله فقط هي خداع المرحل بحيث تجعله يرى خطأ في المرحلة

الأولى وكأنه في المرحلة الثانية، مما ينجم عنه فصل خاطئ وهذه المشكلة من أهم المشاكل التي يمكن أن تسبب لمنظومة القوى الكهربائية ما يسمى Loose of stability. ومنظومة القوى تتحمل الأخطاء طالما كانت في حدود زمنية معينة، ولكن في حال تأخر الفصل عند هذه المدة الزمنية يصبح النظام Unstable. ومن المشاكل الأخرى التي قد تنشأ بسبب تأخر الفصل ظاهرة تحول الأخطاء من أخطاء عابرة Transient، إلى أخطاء دائمة. حيث أن نظام الحماية عند حدوث خطأ عابر يقوم بفتح الخط ثم يقوم بما يسمى Auto Recluser، بعد انقضاء فترة وجيزة تكون كافية لأخطاء الشرارة الناجمة عن الخطأ، فإذا تأخر أحد المرحلات المسؤولة عن فصل العطل عن العمل فإن التأخير سيتسبب في عدم إتمام إطفاء الشرارة الناتجة عن الخطأ، لأن التيار سوف يستمر خلال الخطأ من الجهة التي لم تفصل، وبالتالي وبالرغم من أنه عطل مؤقت فسوف يعامل الآن على أنه عطل دائم وذلك بسبب عدم إتمام إطفاء الشرارة، حينها سوف يفصل المرحل الخط بصورة دائمة وخروجه من الخدمة من دون داعٍ.

ومن أجل التغلب على هذه المشاكل فقد ابتكر مهندسو الوقاية طرقاً لتسريع عملية الفصل، وهي طرق متنوعة تعتمد في فكرتها جميعاً على تبادل المعلومات بين جهازي الوقاية الموجودين على طرفي الخط، وهذه المعلومات قد تشمل قيم فعلية من الطرف الآخر (مثل قيم الجهد والتيار)، ولكنها في الغالب تشمل إما طلب فصل CB وذلك في الأنظمة المعروفة باسم (Transfer Tripping Scheme) أو طلب منع فصل CB وذلك في الأنظمة التي تعرف بـ (Blocking Schemes)، وفي الأجزاء التالية سنعرض أشهر هذه الطرق:

- **Zone – 1 Extension:**

هذا النظام يستخدم للتغلب على مشكلة شرارة العطل التي تتسبب دائماً في جعل الـ Relay يرى العطل بعيد عن مكانه الحقيقي، وهي تستخدم حين لا يكون هناك وسيلة متاحة لتبادل المعلومات بين جهازي الوقاية على طرفي الخط أو في

حالة استخدام جهاز واحد فقط كما في حالة Radial System، ولكن يشترط وجود – واستخدام – جهاز Auto – Re – closure.

وتعتمد فكرة هذا الأسلوب على عمل زيادة لمدى Zone– 1، فبدلاً من جعله 80٪ فقط نجعله 120٪، وبمجرد حدوث عطل سيتم فتح الدائرة وتشغيل الـ Auto Re – Closure ليكون جاهزاً للمحاولة الأولى.

لإعادة غلق الدائرة، في هذه الأثناء تكون شرارة العطل قد أطفئت لأن الدائرة مفتوحة، وفي نفس الوقت وقبل أن يسمح لجهاز الـ Auto–Re – Closure بإعادة غلق الدائرة فإن الـ Relay يعود لقيم الضبط التقليدية للمرحلة الأولى وهي (80٪).

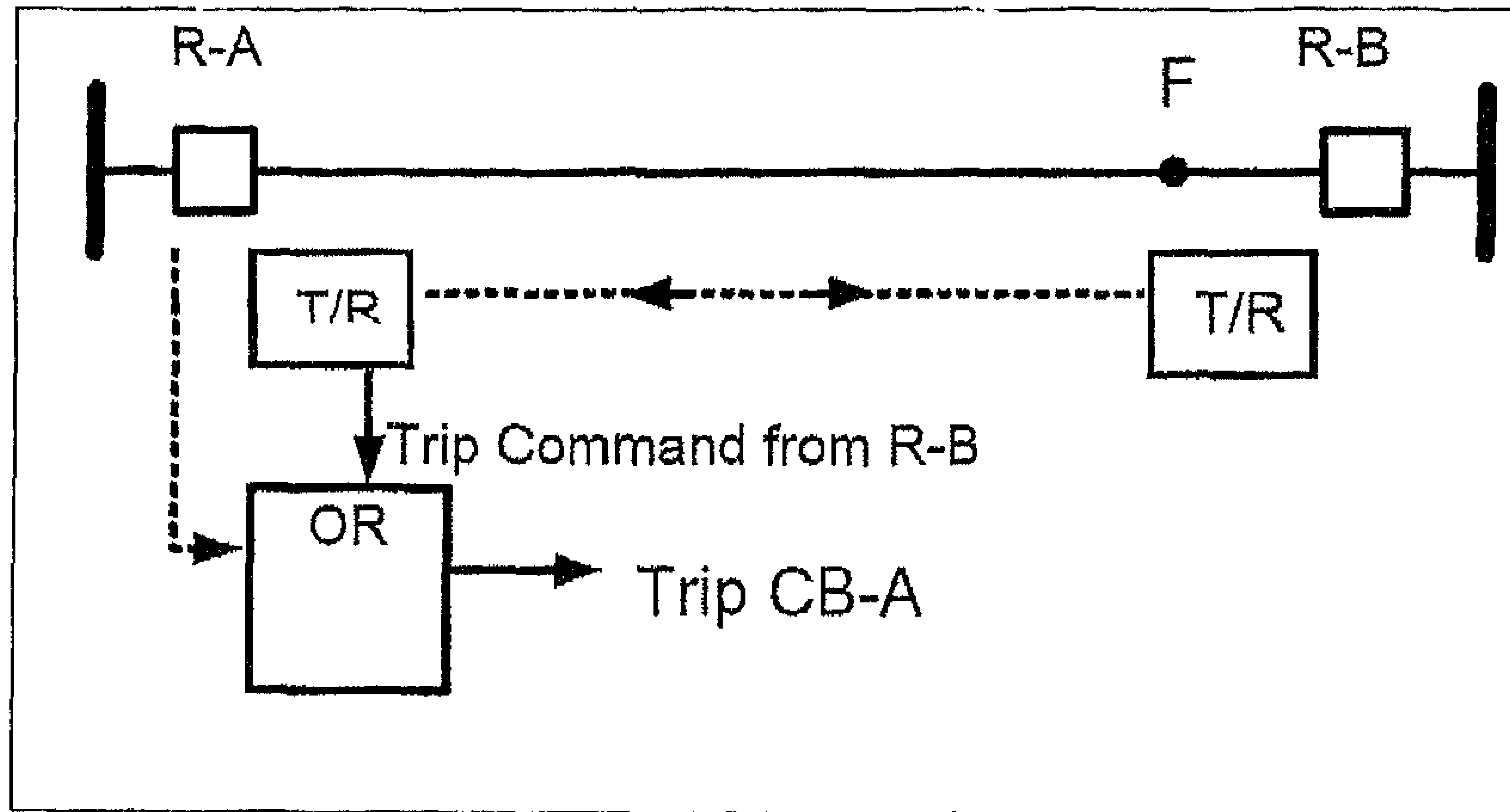
2.13 Directional comparison Blocking:

في هذا الأسلوب فإن الـ Relay إذا اكتشف عطلاً خارجياً External Fault فإنه يرسل إشارة منع Blocking للجهاز عند الطرف الآخر، وبالتالي فإن Relay R – A في الشكل (2–18) يمكنه إذا اكتشف عطلاً من النوع Forward أن يفصل الـ CB بشرط ألا يكون قد وصلته إشارة منع من الـ Relay R – B عند الطرف الآخر.

حيث أن R–A ربما يسبب أخطاء القياس قد يرى العطل – بالخطأ السالب – وكأنه داخل حدود Zone–1. لكن R–B الذي يمكنه أن يكتشف بسهولة أن العطل External سيرسل إشارة منع Blocking لـ R–A لمنعه من الاشتغال.

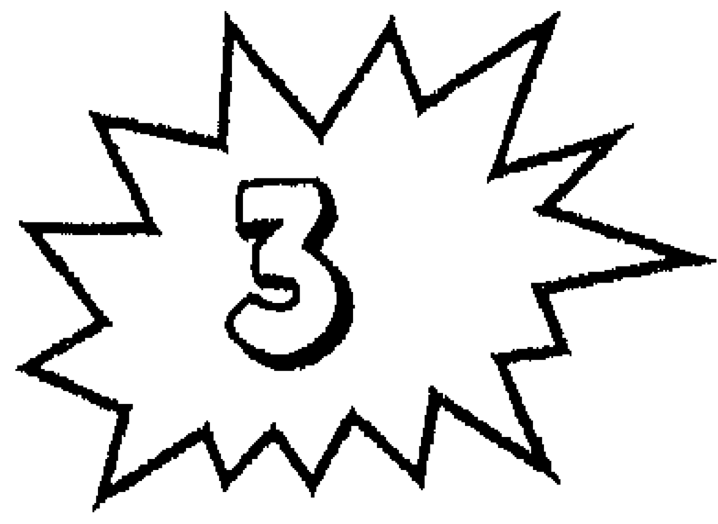
لاحظ أنه في حالة العطل Internal لن يتأخر أي من الجهازين في الفصل حيث لن تصل إشارة Blocking من أي منهما للآخر.

لاحظ أيضاً أن هذا الأسلوب مثلاً لا يتأثر بكون Transmission Line أصبح open circuit نتيجة العطل (بمعنى آخر لا يتأثر بتعطل وسيلة نقل المعلومة)، لأنه كما ذكرنا ينتظر إشارة منع Blocking فإذا لم تصل فإنه يشتغل.



الشكل (19–2) الطريقة DCB

الفصل الثالث



حماية محولات القدرة

الفصل الثالث

حماية محولات القدرة الكهربائية

Protection of Power transformers

3.1 المقدمة:

إن منظومة الحماية تختلف باختلاف العنصر المراد حمايته، كلما زادت أهمية العنصر وارتفع ثمنه كلما حظي باهتمام أكبر. وفي منظومة القوى الكهربائية إن المولدات هي من أهم العناصر في المنظومة لذا يتم استخدام عدد كبير من أجهزة الحماية إلى ما يصل إلى 25 نوع من الحمايات الخاصة به.

وفي الدرجة التي تلي المولد تأتي محولات القدرة Power Transformers وخاصةً أنها منتشرة على طول الشبكة، ولذا لا بد لنا من معرفة وفهم خصائص هذه الحمايات، وطرق عملها.

وإن أساليب الحماية المطبقة في المحولات تتفاوت وذلك يعتمد على مستوى القدرة للمحول، وبشكل عام نستطيع القول بأنه كلما زادت قدرة المحول زادت الحماية المطلوبة.

وعلى الرغم من الحد من استخدام الفيوزات في تطبيقات الحماية مع الجهد المنخفض وذلك بسبب الحاجة إلى استبدال الفيوزات كلما حدث عطل ما مما يعني إهدار الكثير من الوقت، إلا أننا لا زلنا نلاحظ استمرارية استخدامها بشكل كبير مع المحولات ذات القدرات الصغيرة ويعود السبب إلى رخص ثمنها مقارنةً مع باقي أجهزة الحماية، ولا ننسى أيضاً الاعتمادية العالية جداً في اكتشاف الأخطاء.

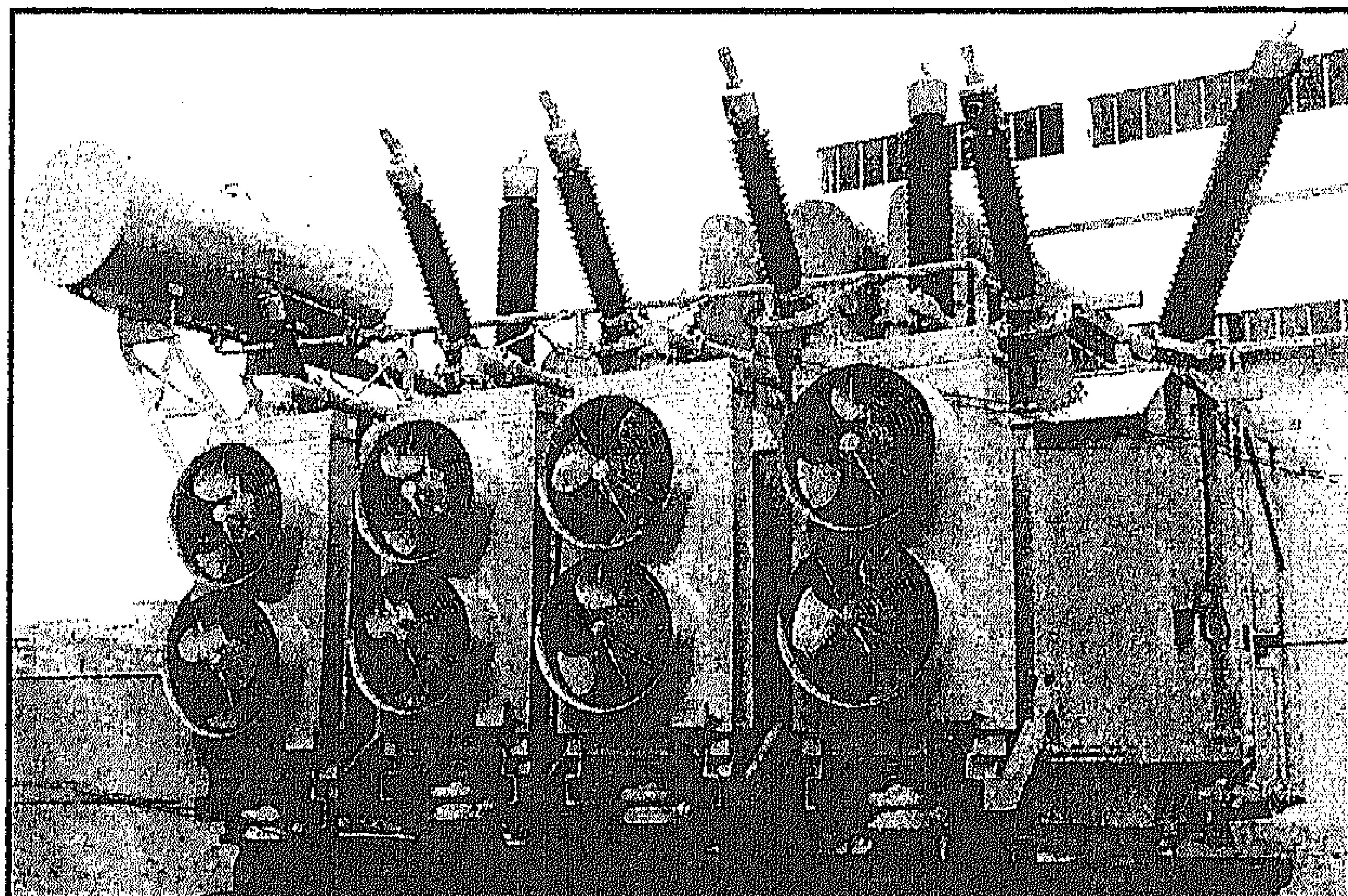
3.2 الأخطاء في المحولات Faults The Transformers:

إن الأخطاء في المحولات تتنوع من حيث حدوثها، فبعضها نادر مثل Phase to Phase ومثل Interturn Fault والتي تسمى أخطاء لفات الطور الواحد في محولات الجهد المنخفض، بينما تزداد احتمالية حدوثها في المحولات ذات الجهود العالية والفائقة وذلك بسبب تعرض لفات المحول خاصة النهائية Impulse Voltage ذات القيم العالية جداً مقارنة بـ Rated Voltage للمحول.

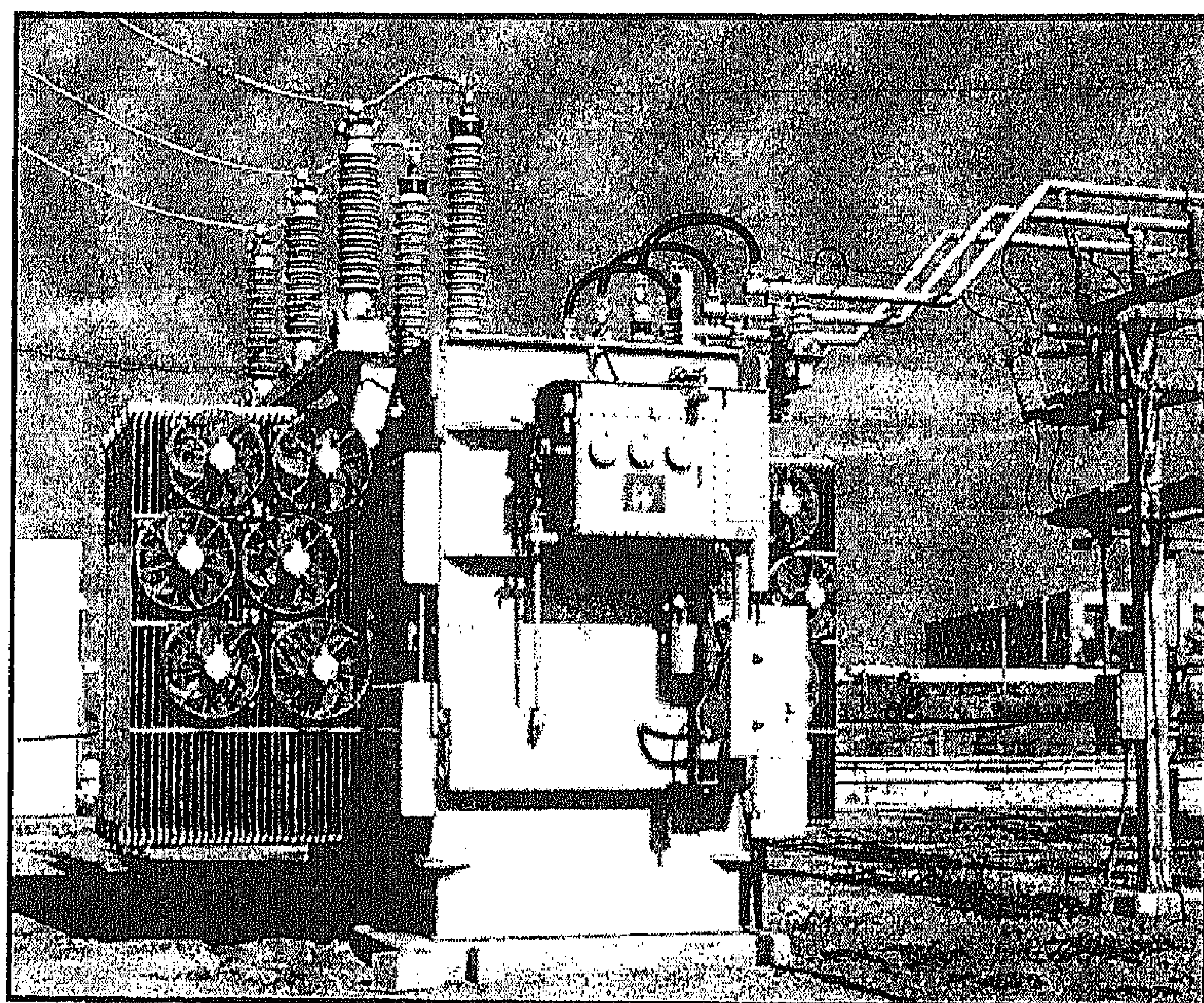
وهنالك أيضاً الأخطاء التي تحدث في القلب المعدني Core Faults، وذلك نتيجة مرور Eddy Currents العالية، والتي ينجم عنها ارتفاع درجة حرارة القلب وخاصة عند مسامير الربط مما ينجم عنه ارتفاع درجة حرارة زيت التبريد وتبخره مما يسهل علينا اكتشاف الخطأ من خلال Boch holz Relay والذي سوف نقوم بتناوله بشكل تفصيلي لاحقاً.

وأخيراً نذكر الأخطاء التي تنجم عن تسرب الزيت من خلال بعض الشقوق مما يؤدي إلى انخفاض منسوب الزيت في المحول، ويمثل تسرب الزيت علامة خطرة كبيرة لهذه المحولات.

ومما لا بد من معرفته هو أن ما يحدد قيمة تيار العطل في المحولات هو مقدار المصدر وطريقة Earthing of the Neutral Point ومكان الخطأ في المحول. والصورة المرفقة أدناه تبين بعض أشكال محولات القوى ذات الجهد العالي.



صورة (1– 3) محول قدرة يبرد بالزيت



صورة (2– 3) محول قدرة يبرد بـ SF6

3.3 الحماية التفاضلية Differential Protection:

إن تحديد مكان الخطأ هو من أهم المشاكل التي تواجه Over Current Relays لأنه بمجرد زيادة التيار عن قيمة الضبط سيعمل OC Relay بغض النظر عن مكان العطل. وهذه المشاكل كانت الدافع للبدء في التفكير في إيجاد صنف جديد يستطيع التمييز بين الأعطال داخل منطقة الحماية أو خارجها وهو ما يعرف بالحماية التفاضلية Differential Protection، وأحياناً تسمى Unit Protection لأنه على قدرة أن تقوم بحماية وحدة واحدة من الشبكة. وهذه الوحدة قد تكون المحول، المولد، أو أحد خطوط النقل، وفي جميع الأحوال فإن Differential Relay سوف يعمل في حال كان الخطأ في الوحدة المحمية فقط.

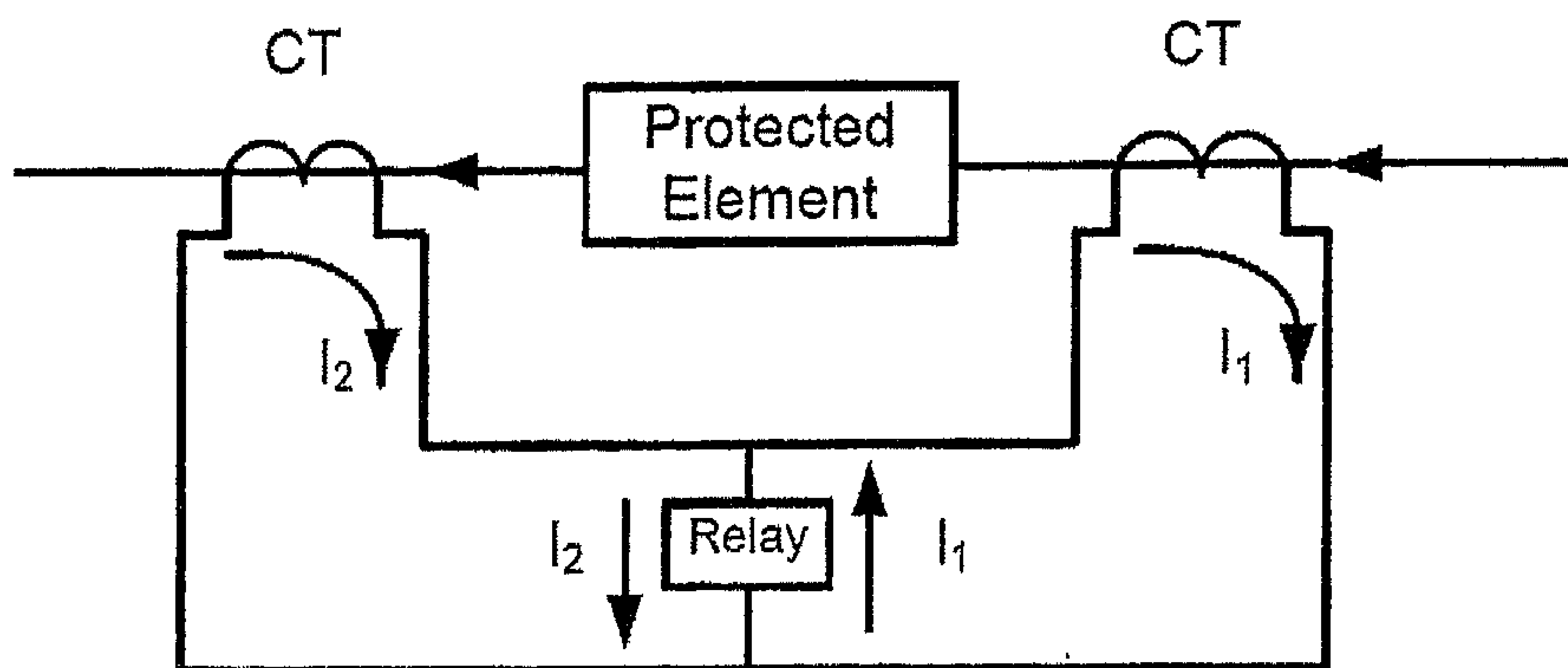
وسنقوم في هذا الفصل بدراسة فكرة عمل هذا النوع من الحماية وكيفية ضبطه، والمشاكل التي يواجهها وكيفية التغلب عليها.

3.3.1 المبادئ الأساسية للحماية التفاضلية:

الفكرة الأساسية لهذا النوع من الحماية تتضح من الشكل (1 – 3). وكما هو واضح فإن التيار الداخل إلى جهاز الحماية هو الفرق بين التيار الداخل للعنصر المراد حمايته والتيار الخارج من نفس العنصر ($I_1 - I_2$) ويسمى هذا التيار Differential Current. ففي الظروف الطبيعية بدون أعطال لا بد أن يكون $I_1 = I_2$، بالتالي فالتيار الداخل لجهاز يساوي صفر، أما في حالة وجود عطل داخل العنصر المراد حمايته فإن تيار الدخول حتماً سيختلف عن تيار الخروج ويحدث فرقاً بسبب تشغيل جهاز الحماية لأن الجهاز دائماً يقوم بتحليل الفرق بين التيارين.

ومن خلال ما سبق يمكننا معرفة سبب تسمية DifferentalProtection. ومما يجدر الإشارة إليه أن حدود المنطقة المحمية Protected Zone تحدد من خلال محولي تيار، ونلاحظ أيضاً أن الجهاز لا يتأثر بالأخطاء الخارجية

External Fsults، ولذا سمي Unit Protection لأنه يقوم بحماية وحدة واحدة والتي تقع ضمن حدود العنصر المراد حمايته، كما هو مبين في الشكل (1–3).



شكل (1– 3) مبادئ الحماية التفاضلية

3.3.2 المشاكل العملية لأجهزة الحماية التفاضلية:

إن هذا النوع من أنظمة الحماية يواجه بعض المشاكل العملية التي لا بد لنا من إجراء بعض التعديلات، وأبرز هذه المشاكل هي:

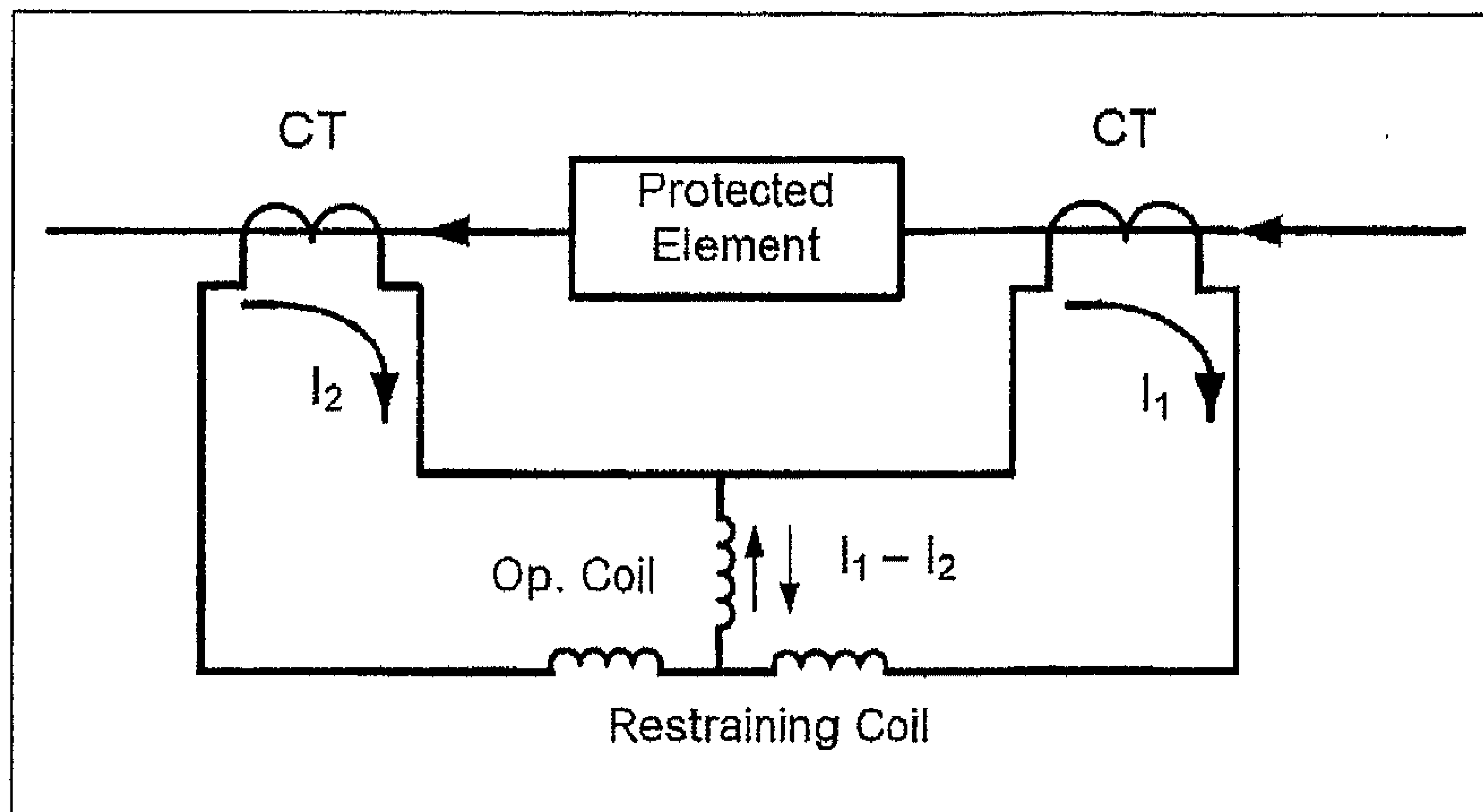
إن تيار الدخول I_1 لا يساوي التيار الخارج I_2 حتى في الظروف الطبيعية أي أن $(I_1 - I_2)$ لا يساوي صفراً، والسبب يعود إن عدة أمور، أهمها:

1. عدم تماثل محولي التيار، فحتى لو كانا من شركة واحدة فسيظل بينهما فروق تجعل التيار في الجانب الثانوي لكل منهما مختلف عن الآخر، حتى لو كان التيار الابتدائي متساوياً تماماً، وهذا يعزى أحياناً لعيوب التصنيع. والأمر أكثر صعوبة في حالة تشبع أحد المحولين.
2. وجود مكثفات شاردة في العنصر المراد حمايته Stray Capacitance قد تكون بسبب الكابلات أو العوازل في العنصر المراد حمايته، وهذه المكثفات يتسرب من خلالها جزء من تيار الدخول إلى الأرض، مما يترتب عليه اختلاف تيار الدخول عن تيار الخروج، حتى لو فرض أن محولي التيار متماثلين تماماً.

3. عند حدوث عطل خارجي فهناك احتمال أن يحدث تشبع (Saturation) لأحد محولي التيار مما يترتب عليه انخفاض قيمة التيار الذي يقرؤه هذا المحول بدرجة كبيرة، رغم ارتفاع التيار في جانبه الابتدائي (راجع الفصل الأول). وعلى هذا سيحدث لا محالة فرق كبير بين تياري الدخول والخروج قد يترتب عليه حدوث فصل خاطئ.

3.3.3 Baised/Percentage Differential Relay:

ولحل مثل هذه المشاكل فقد تم إجراء عدة تعديلات على الفكرة المسطة التي تم توضيحها في الشكل السابق لتصبح كما هو مبين في الشكل (2– 3).



شكل (2– 3) الحماية التفاضلية المعدلة

والآن فإن جهاز الحماية يمر فيه تيارات مختلفة:

الأول: وهو الـ Differential Current ويساوي $(I_1 - I_2)$، ويسمى أيضاً تيار التشغيل Operating Current ويمر في ملف التشغيل Operating Coil (الملف الرأسي في الشكل 2 – 3)، لكن الجديد الآن أن العزم الناتج عن هذا التيار

سيجد عزماً مقاوماً Restraining Torque ناشئاً من تيارين آخرين منفردين كل منهما يساوي:

$$(\frac{I_1+I_2}{2})\,N$$

حيث أن N هي عدد لفات ملف المقاومة Restraining Coil (الملف الأفقي في الشكل السابق).

ويسمى هذا التيار بـ Mean Through Current وسينتج عزماً مقاوماً يتناسب مع قيمة هذا التيار.

بحيث إذا تغلب عزم التشغيل على عزم المقاومة فسوف يفصل الجهاز الدائرة والعكس صحيح. ويكون عدد لفات ملف المقاومة عادةً أقل من عدد لفات ملف التشغيل.

وهنا لا بد من ملاحظة أنه في حالة حدوث فرق بسيط (فرق طبيعي) بين تياري الدخول والخروج فلن يتسبب في أي مشكلة، وكذلك عند نشوء هذا الفرق بسبب عدم تماثل CT، والسبب في ذلك موضح في المثال التالي:

لو فرضنا أن $I_{in} = 5\ A$ وأن $I_{out} = 4.5\ A$، فإن عزم التشغيل يتناسب مع تيار يساوي:

$$I_{op} = (5 - 4.5) = 0.5\ A$$

كما أن عزم المقاومة سيتناسب مع تيار يساوي:

$$I_{Res} = \frac{5+4.5}{2} = 4.7\ A$$

وبالتالي فرغم وجود فرق يصل إلى 0.5 أمبير بين تياري الدخول والخروج إلا أن الجهاز ظل ثابتاً لا يعمل، وهذا هو المطلوب منه فعلاً في مثل هذه الحالات. أما

إذا كان العطل في داخل العنصر المراد حمايته فينشأ فرق كبير بين تياري الدخول والخروج فمثلاً قد يصبح:

$I_{out} = 1\ A\ \&\ I_{in} = 20\ A$

فعندها يصبح عزم التشغيل يتناسب مع تيار يساوي:

$I_{op} = (5 - 4.5) = 0.5\ A$

كما أن عزم المقاومة سيتناسب مع تيار يساوي:

$I_{Res} = \frac{5+4.5}{2} = 4.7\ A$

وبالتالي فرغم وجود فرق يصل إلى 0.5 أمبير بين تياري الدخول والخروج إلا أن الجهاز ظل ثابتاً لا يعمل، وهذا هو المطلوب منه فعلاً في مثل هذه الحالات. أما إذا كان العطل في داخل العنصر المراد حمايته فينشأ فرق كبير بين تياري الدخول والخروج فمثلاً قد يصبح:

$I_{out} = 1\ A\ \&\ I_{in} = 20\ A$

فعندها يصبح عزم التشغيل يتناسب مع تيار يساوي:

$I_{op} = 20 - 1 = 19\ A$

أما عزم المقاومة يتناسب مع تيار شدته:

$I_{Res} = \frac{20+1}{2} = 10.5\ A$

وبالتالي يحدث فصل للدائرة كما هو مطلوب، وبعد إجراء هذه التعديلات يسمى الجهاز Percentage Differential Relay.

أما في حالة الخطأ الداخلي فهناك احتمالان، وهما:

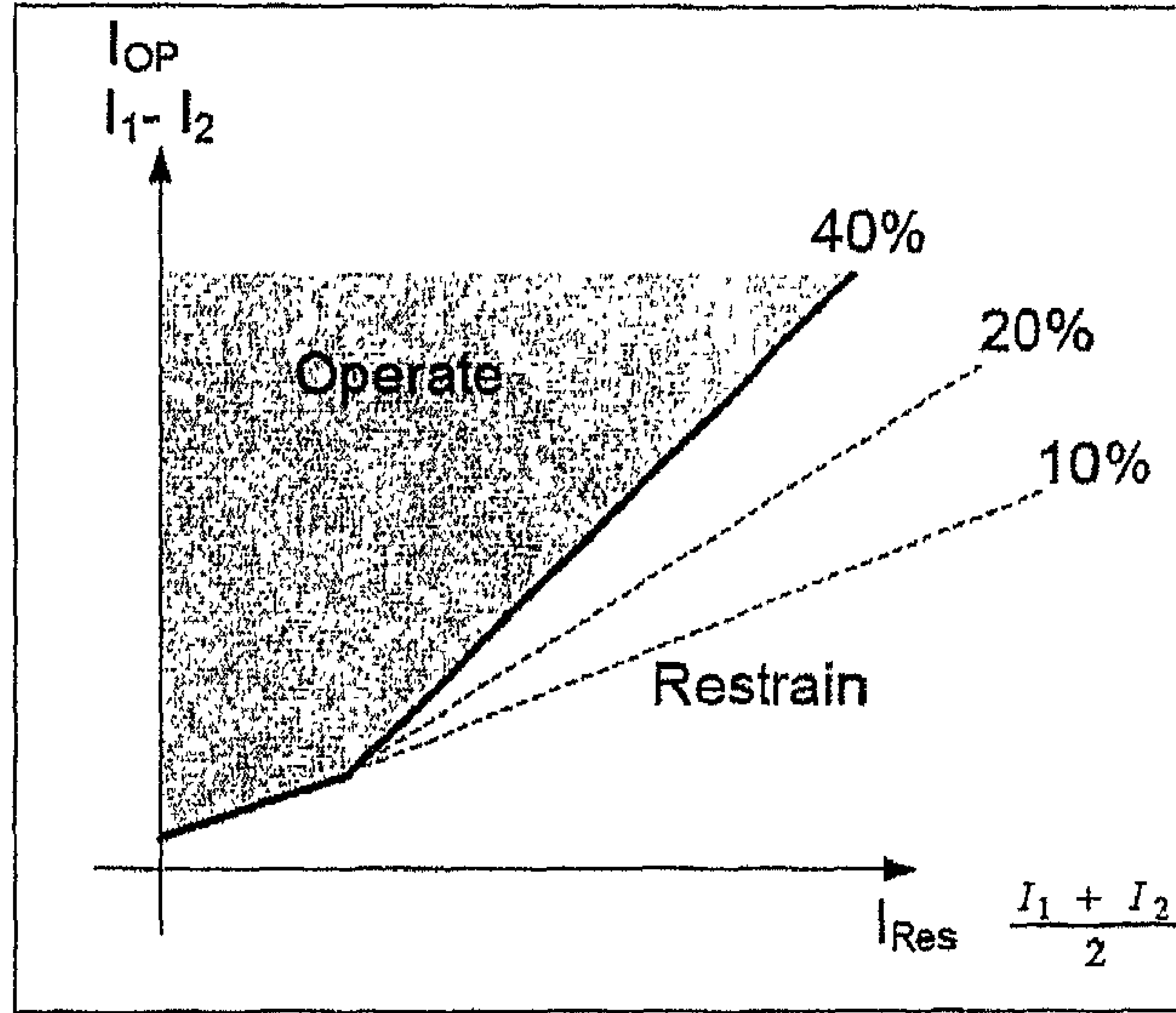
أن يكون هناك تغذية من الاتجاهين وعندها سيكون التيار المار في Op. Coil هو مجموع التيارين لأن التيار ينعكس اتجاهه في محول التيار الثاني. لكن الحالة الأصعب تكون في عدم وجود تغذية من الجهة الأخرى، ففي هذه الحالة سيتوزع تيار العطل بين الـ SC، وبين الحمل، لكنه في الغالب يكون هناك فرقاً يكفي للتشغيل.

3.3.4 ضبط ميل منطقة التشغيل:

إن العلاقة بين تيار التشغيل وتيار المقاومة في هذا النوع موضح في الشكل (3 –3)، حيث أننا نلاحظ في مثل هذا النوع أن تيار التشغيل I_{op} لا بد أن يتجاوز نسبة مئوية معينة من تيار المقاومة I_{Res}. وميل (Slope) هذه العلاقة يمثل بصورة غير مباشرة نسبة الأخطاء التي تتسبب في عدم التماثل بين كلاً من تيار الدخول والخروج، ويذكر بشكل نسبة مئوية:

$$K = \frac{I_{op}}{I_{Res}}$$

ومقدار الـ Slope له قيم مختلفة قد تكون 10٪، 20٪ أو حتى 40٪. بمعنى أن تيار التشغيل يلزم له أن يكون مثلاً 20٪ من تيار المقاومة حتى يبدأ الجهاز في العمل، وفي بعض الأجهزة يكون الميل مكون من جزئين، كما هو مبين في الشكل .(3–3)



شكل (3 -3) نسبة Slope المحددة لمنطقة التشغيل

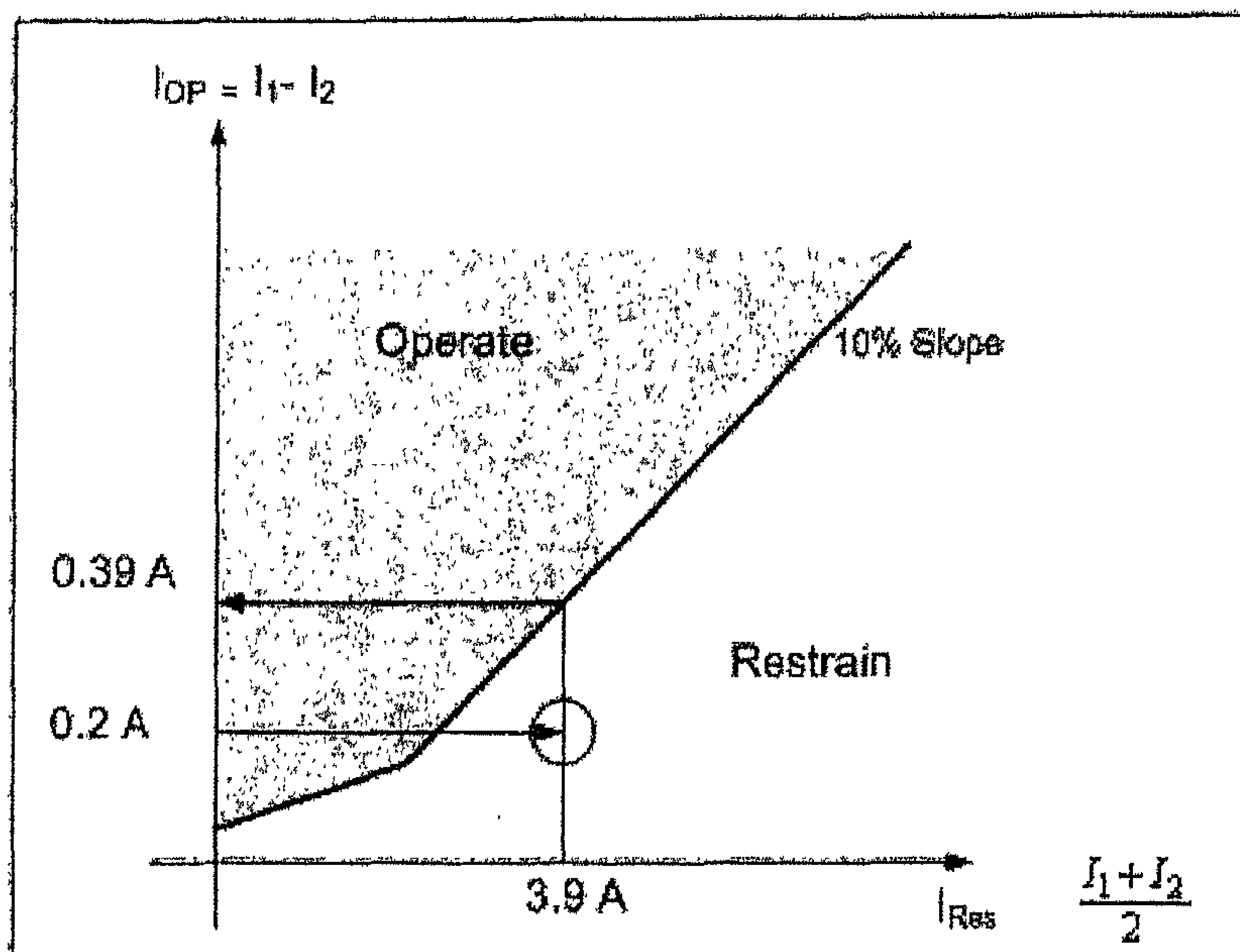
واضح أنه كلما انخفض قيمة الميل كلما كان الجهاز أكثر حساسية للتشغيل. بمعنى آخر، كلما انخفضت قيمة الميل كلما كانت نسبة الأخطاء المتوقعة صغيرة وهي التي تؤخذ في الاعتبار مثل عدم تماثل CT مثلاً.

لاحظ الارتفاع الصغير عن الصفر بالنسبة I_{op} عند بداية التشغيل، وهو ضروري كمساحة أمان من التشغيل الخاطئ، كما انها تؤمن التغلب على الاحتكاك في الأجهزة التقليدية. وعادةً يتم ضبط I_{op} للعمل على قيم صغيرة جداً تبدأ من ربع أمبير.

ملحوظة: نسبة 10٪ قد تساوي في بعض الأجهزة حوالي 0.2 ويسمى هذا أقل تيار تشغيل Minimum Pickup Current. أما زمن التشغيل في مثل هذه الأجهزة فيتراوح بين 25 إلى 150 مللي ثانية.

- **مثال:** Differential Relay له ميل يساوي 10٪ كما في الشكل (4- 3). ثم فرضنا أن خطأ داخل منطقة الحماية قد حدث خلال مقاومة عالية، بحيث أن الفرق بين التيارين الداخل والخارج لم يكن كبيراً فقد كان التيار الداخل

يساوي 320 A، بينما التيار الخارج يساوي 304 A. فإذا فرضنا أن نسبة تحويل محولات التيار CTR كانت تساوي 400:5، فهل سيشعر هذا الجهاز بذلك الخطأ أم لا؟



شكل (4– 3) مخطط المثال

الحل:

من خلال قيمة تياري الدخول والخروج I_1, I_2 يمكننا حساب قيمة تياري التشغيل، والمعاوقة I_{op}, I_{Res}، كما يلي:

$$I_1 = \frac{320*5}{400} = 4\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{304*5}{400} = 3.8\ \text{A}$$

$$I_{op} = I_1 - I_2 = 0.2\ \text{A}$$

$$I_{reset} = \frac{I_1+I_2}{2} = 3.9\ \text{A}$$

وعند تحديد النقطة (0.2 A & 3.9 A) على المخطط المرفق، نجد بأن النقطة تقع داخل منطقة Restrain أي أن الجهاز لن يشعر بهذا الخطأ. .

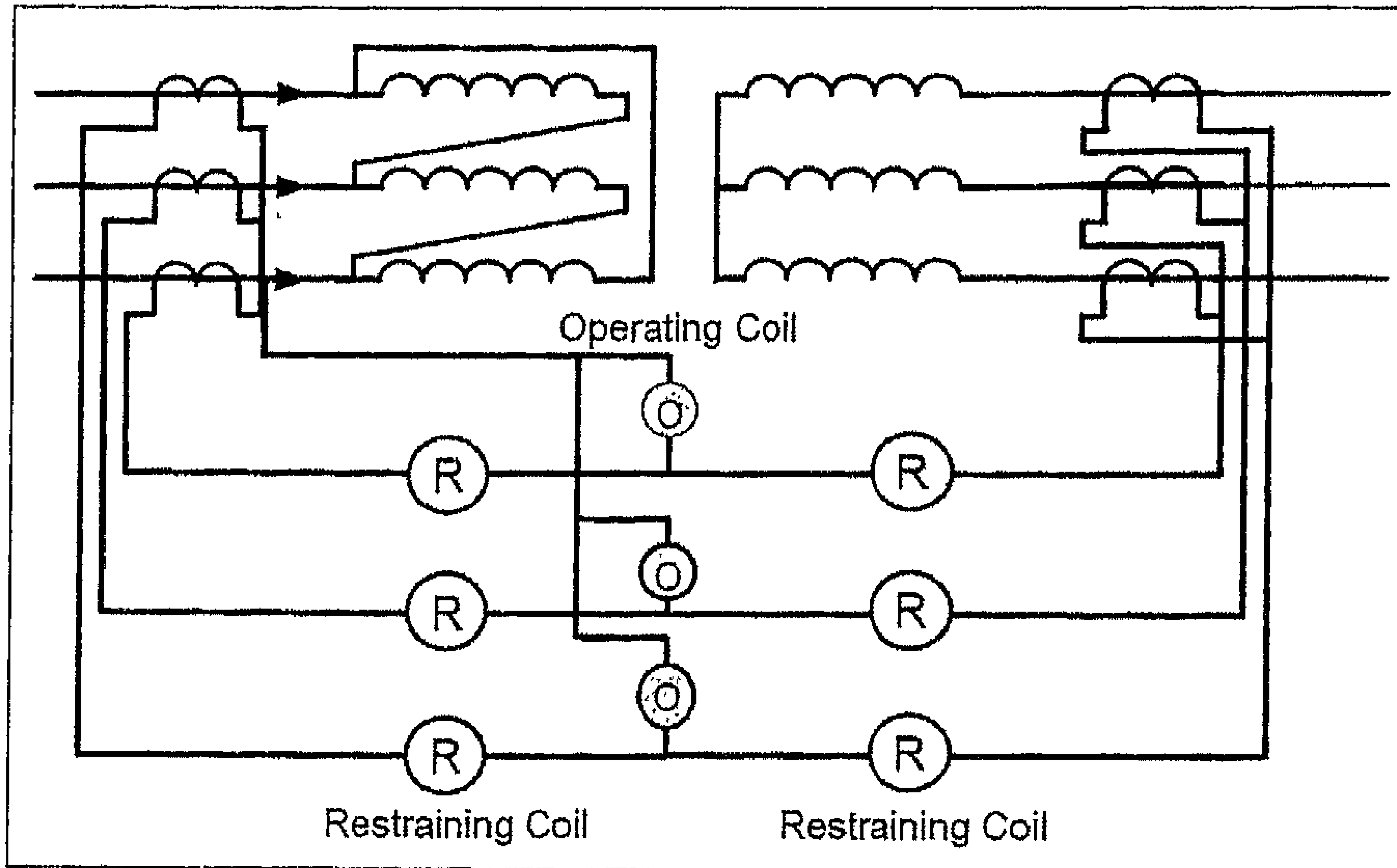
3.3.5 استخدام الحماية التفاضلية مع المحولات:

عند استخدام Diferential Relay لحماية محول قدرة فسوف تظهر لنا مشاكل أخرى بالإضافة إلى المشاكل التي سبق ذكرها، ومن أبرزها:

- منها وجود فروق طبيعية بين التيار الداخل والخارج إلى المحول نتيجة اختلاف عدد لفات الملف الابتدائي عن الثانوي، وهذه المشكلة يمكن حلها باستخدام قيمة مختلفة للـ CTR في الابتدائي عنه في الثانوي.
- ومنها أيضاً أن بعض المحولات تكون مزودة بما يسمى مغير النسبة Tap Changer)، وغالباً ما يكون من النوع الذي يستخدم أثناء وجود المحول في الخدمة On–Load Tap Changer، مما يترتب عليه تغير قيمة تيار الجانب المزود بـ TAP Changer دون حدوث تغير في الجانب الآخر، وهذا إذا لم يؤخذ في الاعتبارفإنه يمكن أن يسبب فصل خاطئ، وهذا يعالج باختيار Slope مناسب لتجنب أكبر خطأ متوقع.
- وهناك مشكلة ثالثة تتعلق بطريقة توصيل المحولات الثلاثية وهل هي مثلاً Y – Y أم Y - Δ (دلتا – ستار)، (ستار – دلتا) أو غيره، وكل طريقة من هذه الطرق تنشأ علاقة بين التيار الابتدائي والثانوي مختلفة في القيمة والاتجاه عن الطرق الأخرى، وهذا الـ Phase Shift يمكن تجاوز تأثير بتوصيل محولات قياس التيار (CT) في الجانب ستار على شكل دلتا، والعكس بالعكس كما في الشكل (5 – 3)، وهذه قاعدة هامة وضرورية في توصيل وقاية المحولات.

ومن المعروف أن التوصيل على شكل دلتا يمنع مرور التيارات الصفرية Zero Sequence Currents، ولذلك فإن التوصيل بهذه الطريقة: محول القوى موصل على شكل دلتا – ستار، ثم محولات التيار توصل ستار – دلتا، يفيد أيضاً في

منع ظهور التيارات الصفرية Sequence Current Zero في كل الجانبين، لأن توصيلة الدلتا الموجودة الآن في كل جانب ستقوم بهذه المهمة، سواءً كانت توصيلة الدلتا الخاصة بالمحول نفسه، أو توصيلة الدلتا الخاصة بمحولات التيار.



شكل (5– 3) ربط CT على جانبي محول Y - Δ

ومما لا بد لنا من معرفته أيضاً أن Zero Sequence Currents تدور داخل الجانب Δ ولا تنتقل إلى الجانب الآخر Y. لذا فالتيار الواصل لجهاز الحماية يخلو من هذه التيارات. وهذا يعني أن جهاز الحماية لن يتأثر بالأعطال الخارجية التي تتميز عادةً بقيم كبيرة من هذه التيارات.

وهنا لا بد لنا أن نذكر بأن هناك ملف ثالث في المحولات يسمى Tertiary Winding بالإضافة إلى ملف Primary وملف Secondary. ويكون موصل على هيئة Δ بشكل دائم، وهذا الملف يستخدم لمرور مركبة التيار الصفرية Zero Sequence Current في حالة عدم اتزان الأحمال على المحول. وتختلف قيمة القدرة في هذا الملف عن الملفين الرئيسيين، وفي كثير من الأحيان تكون قدرته تساوي ثلث قدرة الملفات الأخرى.

مثال: بفرض وجود محول بقدرة 20 MVA وجهده 69/110 KV، مركب في كل Phase على حدة بمعنى أنه يمثل محول من النوع (Single Phase)، والمحول مركب عليه Tap Changer under load يمكنه أن يغير نسبة التحويل على خطوات أثناء التحميل بنسبة أقصاها (5% -) إلى (5% +). ويراد حمايته بواسطة جهاز Differential Relay.

والمطلوب أن نعرف:

1. كيفية اختيار قيمة CTR المناسبة على جانبي المحول.
2. كيفية اختيار الميل المناسب Percentage Slop لجهاز الحماية حيث أن النسب المتاحة هي: 10% - 20% - 40%.
3. تحديد أقل قيمة تيار في الابتدائي سيتسبب في تشغيل الجهاز.

ملحوظة هامة: يزود جهاز الحماية التفاضلي بمجموعة من Input Taps ليمكنه علاج مشكلة عدم التماثل بين جانبي المحول، وهي قيم متنوعة في قيم الدخول لكن الخروج دائماً 5 A في الجانب الآخر. والقيم المستخدمة هنا هي 5:3 ، 5:4 ، 5:4.5، 5:4.8 ، 5:4.9 ، 5:5 ، 5:5.1 ، 5:5.2 ، 5:5.5.

الحل:

1. اختيار CTR المناسبة للمحولات:

أ) نقوم بذلك من خلال إيجاد التيار الابتدائي والثانوي في الوضع الطبيعي:

$$I_P = \frac{20\text{ MVA}}{69\text{ KVA}} = 289.8\text{ A}$$

$$I_s = \frac{20\text{ MVA}}{110\text{ KVA}} = 181.8\text{ A}$$

ب) نختار قيمة CTR مختلفة في كل جانب بحيث تنتج تياراً في الجانب الثانوي أقرب ما يكون 5A وفي هذه الحالة:

$$CTR_P = \frac{300}{5}$$

$$CTR_s = \frac{200}{2}$$

ومن خلال هذه النسب:

$$I_{P'} = 289.8 * \frac{5}{300} = 4.83\ A$$

$$I_{s'} = 181.8 * \frac{5}{200} = 4.54\ A$$

ج) وكما نلاحظ بأن قيم التيار في الجانبي متباعد رغم استخدام CTR مختلفة، وبالتالي يتبين لنا أهمية وجود Input Taps ذات قيم مختلفة بجهاز الحماية لتعديل قيم تياري الجانبين، بمعنى نستخدم مع الابتدائي TAP = 4.8/5 فيصبح التيار الداخل لجهاز الحماية:

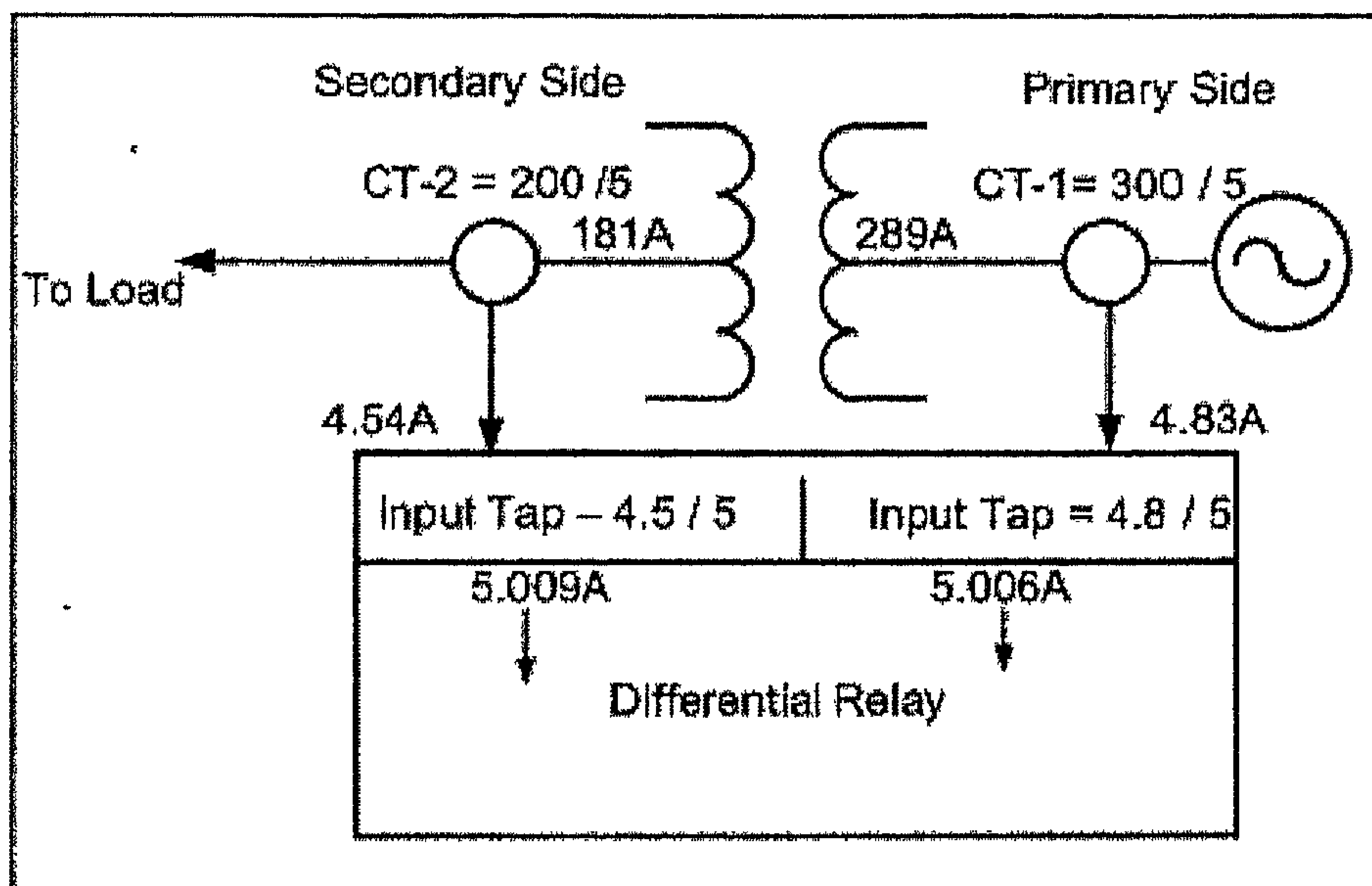
$$I_{P'}(\text{modified}) = \frac{4.83}{4.8} * 5 = 5.006\ A$$

ونستخدم في الجانب الآخر TAP = 4.5/5 فيصبح:

$$I_{s'}(\text{modified}) = \frac{4.54}{4.5} * 5 = 5.009\ A$$

وبالتالي تصبح نسبة الخطأ نتيجة اختلاف التحويل في المحول تصل إلى 0.003 A فقط.

وجميع الخطوات تم إيضاحها في الشكل (6– 3).



شكل (6– 3) خطوات اختيار CTR

2. اختيار قيمة Pickup:

أما أقل تيار للتشغيل Pickup فغالباً ما يتم اختيار أقل تيار تشغيل متاح في الجهاز وهي ربع أمبير (وهو الفرق بين تياري الدخول والخروج في أغلب الأجهزة المتاحة)، وهذا معناه أن أقل تيار في الجانب الابتدائي – بفرض أن تيار الثانوي يساوي صفر – يمكنه أن يسبب تشغيلاً للجهاز يساوي ربع أمبير، وهي قيمة تعادل في الجانب الابتدائي القيمة التالية:

$$\frac{1}{4} \times \frac{4.8}{5} \times \frac{300}{5} = 14.4 \text{ A}$$

ويفهم من هذه القيمة (التي هي أقل من التيار الطبيعي)، أن العطل قد حدث أثناء عدم تحميل المحول، وإلا فلو حدث أثناء التحويل لكان تيار العطل أكبر من ذلك بكثير. ومعنى هذه القيمة أيضاً أن أي عطل يمكن أن ينشأ تياراً في الجانب الابتدائي أقل من 14.4 A فلن يحس به الجهاز. وبالمثل فإن أي عطل ينشأ فرقاً بين تيار الابتدائي وتيار الثانوي أقل من 14.4 A فلن يشعر به الجهاز.

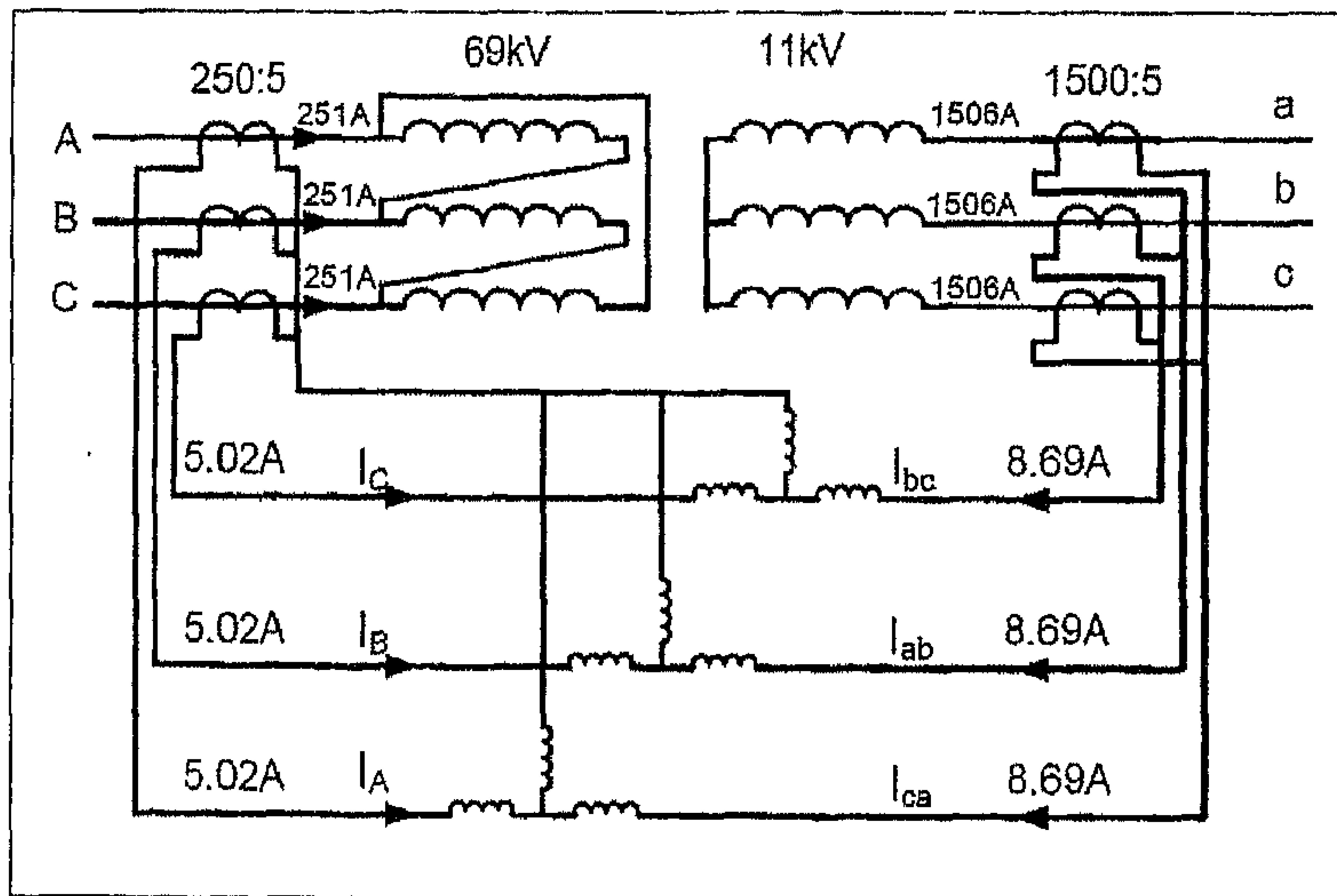
3.4 ضبط المحولات ثلاثية الأطوار Three – Pase transformer Settings:

عند توصيل محول ثلاثي الأطوار Δ - Y فإن الاختلاف الوحيد الذي سيظهر عند المثال السابق هو احتياجنا CT في جانب Y موصل على شكل Δ. وCT آخر في جانب Δ يزيد دائماً بمقدار $\sqrt{3}$ عن نظيره في الجانب Y. ويجب أخذ ذلك في عين الاعتبار عند اختيار نسب تحويل التيار على جانبي المحول كما هو موضح في المثال التالي.

- **مثال:** محول 30 MVA بجهد 11.5/69 KV موصل بطريقة الـ Y - Δ كما في الشكل (7– 3)، والمطلوب حساب نسبة التحويل المناسبة للـ CT في كلا الجانبين وطريقة توصيلهم، علماً بأن القيمة المتاحة لمحولات التيار هي (50:5 up to 2500:5).

كما يراد ضبط جهاز الوقاية التفاضيلي لحماية هذا المحول علماً بأن Input Taps المتاحة فيه هي:

(5:10 – 5:9 – 5:8 – 5:7.3 – 5:6.6 – 5:6 – 5:5.5 – 5:5)



شكل (7– 3) توصيل CT في المحول ثلاثي Δ - Y

الحل:

1. دائماً نقوم بإيجاد التيارات الطبيعية:

$$I_L(69\ KV) = \frac{30\ MVA}{\sqrt{3}*69\ KV} = 251\ A$$

$$I_L(11.5\ KV) = \frac{30\ MVA}{\sqrt{3}*11.5\ KV} = 1506.13\ A$$

2. الخطوة الثانية هي اختيار CTR، ففي جانب 11 KV يكون CTR المناسبة هي 1500:5 (أقرب قيمة قياسية إلى 1506).

ولحساب CTR المناسبة في الجانب الآخر (جانب 69 KV) يراعى أن نختار قيمة تنتج تياراً في الجانب الثانوي من CT مماثلة لتيار الثانوي الموجود في CT في الجانب الآخر (جانب 11 KV)، مع الأخذ في الاعتبار أن جانب 11 KV توصل الـ CT فيه على شكل دلتا.

ومعلوم أن التيار الخارجي من Δ تزيد قيمته عن تيار الملفات بمقدار $\sqrt{3}$ لأنه Line Current.

3.4.1 إختيار CTR:

يمكن إختيار CTR من خلال إحدى الطريقتين التاليتين:

أ. الطريقة الأولى:

تكون معادلة التساوي بين تياري الثانوي لمحولات التيار على جانبي المحول كالآتي:

$$\left(1506.13 * \frac{5}{1500}\right)^{phase} * \sqrt{3} = 251 * \frac{5}{X}$$

ومنها نجد أن $X = 144$، أي أن النسبة المناسبة هي 150:5 (أقرب قيمة قياسية إلى 144).

نلاحظ هنا أن اختيار هذه القيمة سيسبب مرور تيار عالي (أعلى من 5 A) حتى في الظروف الطبيعية لأن التيار الطبيعي 250 A، ولحل هذه المشكلة نلجأ إلى استخدام الطريقة الثانية.

نظراً لأننا دائماً نفضل مرور تيار مقداره يقترب في التحميل الطبيعي من 5 A فإننا نختار نسبة 250:5 بدلاً من 150:5 ثم نعالج الفرق بين التيارين الداخليين إلى جهاز الحماية (الذين سيصبحا بعد اختيار نسبة 250:5 متباعدين في القيمة تماماً) باختيار Current Taps مناسبة لتعويض هذا الفرق. وعلى هذا يصبح التيار الموجود في جهة الـ 69 KV يساوي:

$$251 * \frac{5}{250} = 5.02 \text{ A}$$

في حين أن التيار الموجود في جهة 11 KV:

$$1506 * \frac{5}{1500} * \sqrt{3} = 8.69 \text{ A}$$

لذا نقوم باختيار Input Tap في جانب 11 KV تساوي 9:5 A ليصبح مقدار التيارين الداخلين إلى جهاز الحماية الآن متساويين تقريباً.

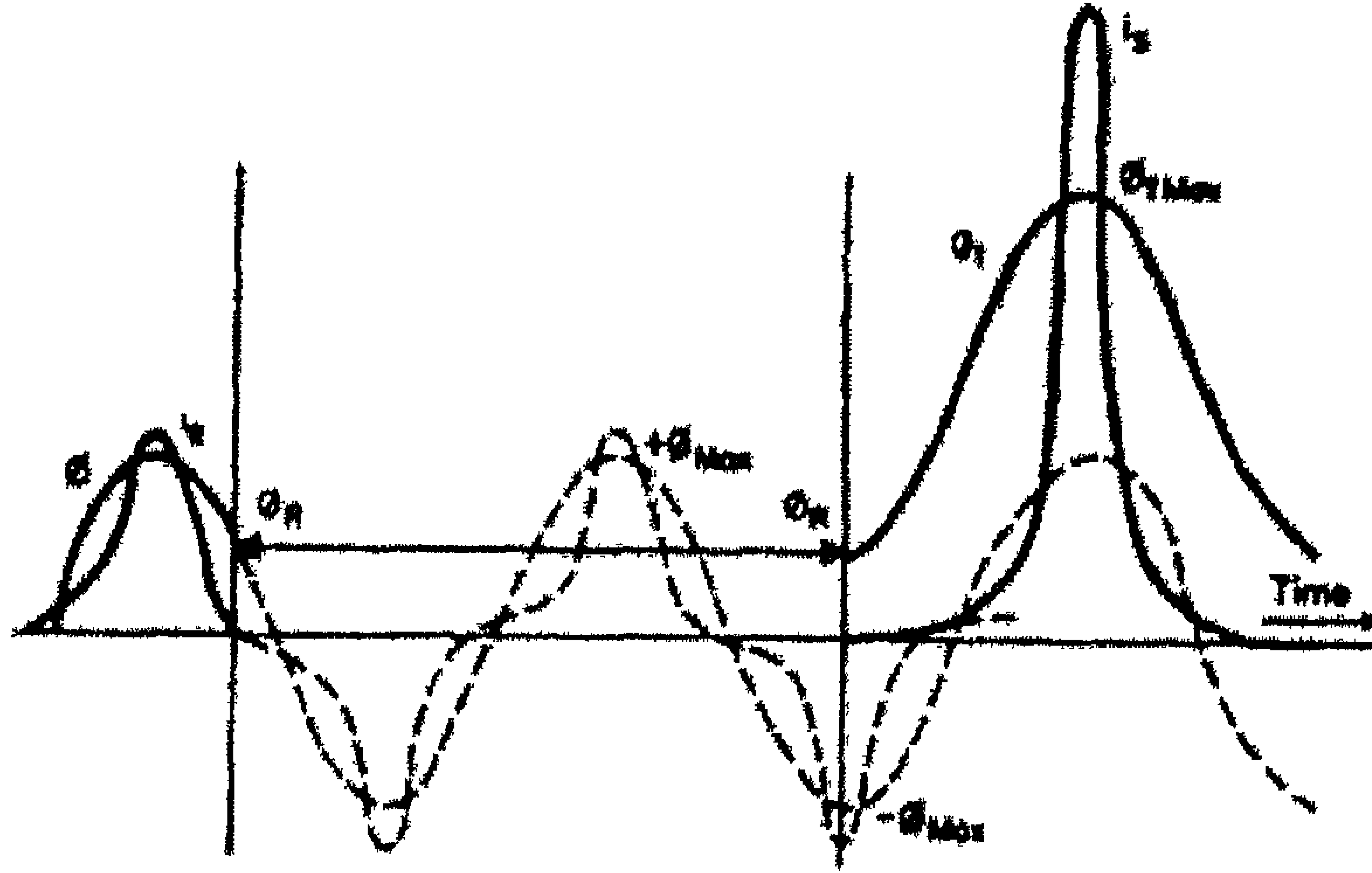
لاحظ مرة أخرى أهمية وجود Input Taps في جهاز الحماية لعلاج مثل هذه المشكلة.

3.4.2 تيارات الاندفاع في المحولات Inrush Current:

إن تيار الاندفاع Inrush Current هي إحدى أهم المشاكل التي يمكن أن تتسبب في فصل خاطئ للمحول.

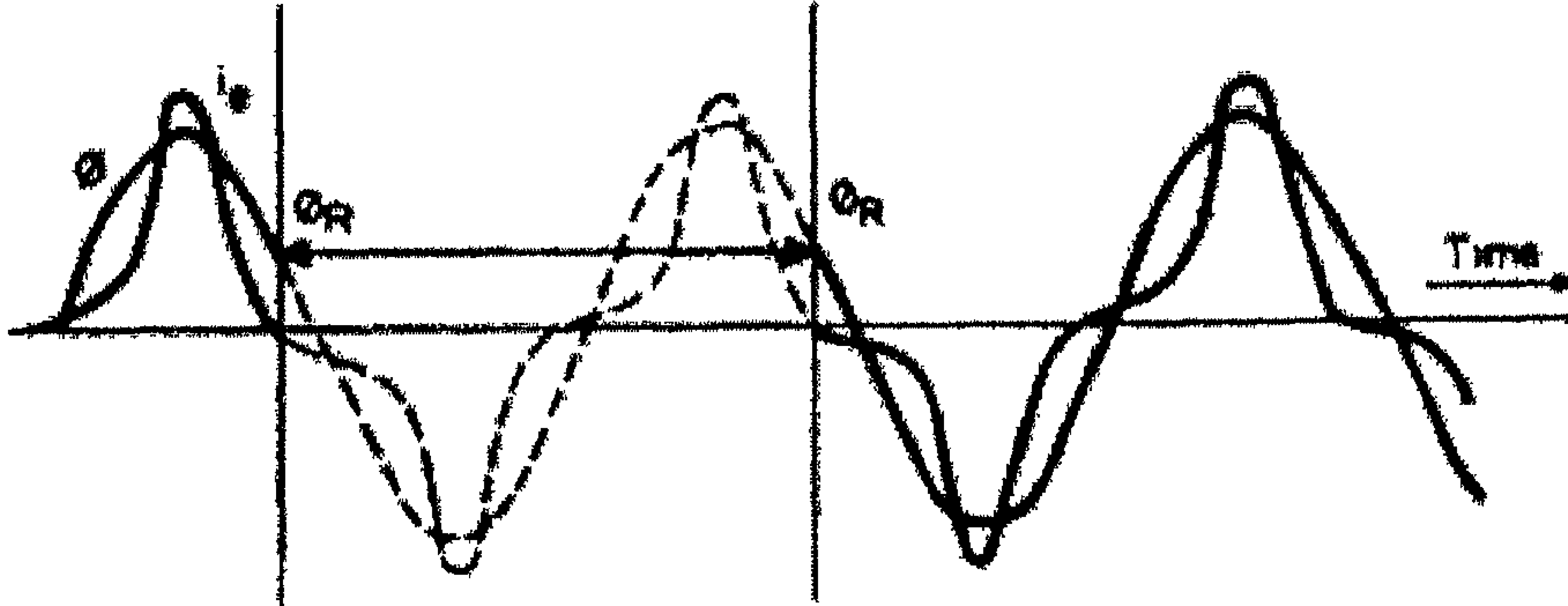
3.4.3 أسباب تيار الاندفاع:

ومن خلال الشكل المرفق (8– 3) يمكننا تخليص أسباب المشكلة كالآتي:



لحظة رجوع المحول للخدمة　　　　لحظة خروج المحول من الخدمة

الحالة الأولى



لحظة رجوع المحول للخدمة　　　　لحظة خروج المحول من الخدمة

الحالة الثانية

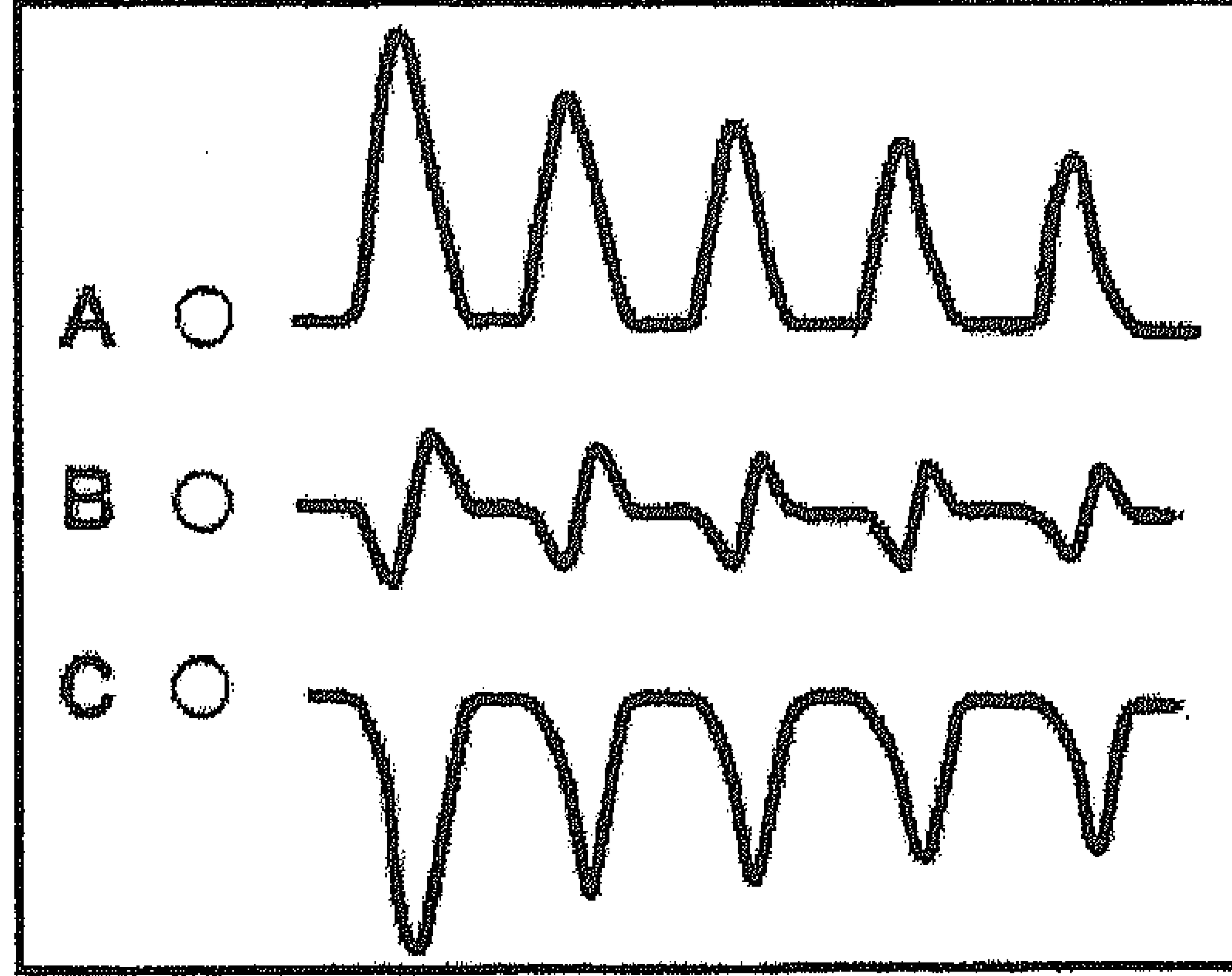
شكل (8– 3) تأثير الفيض المتبقي ولحظة دخول الخدمة على قيمة تيار الاندفاع

1. عند فصل أي Power Transformer فإنه يتبقى داخل القلب الحديدي جزء من الفيض، يسمى الفيض المتبقي Φ_R Residual Flux,.
2. عند رجوع المحول للخدمة، وحيث أن يستحيل التحكم في لحظة رجوعه لتكون هي نفسها اللحظة التي خرج عندها، وبالتالي فالفيض المفترض أن يبدأ بالظهور مع رجوع التيار يحتاج في بعض الأحيان أن يكون عالياً لتعويض القيمة الناشئة عن الفيض المتبقي، وهذا يستلزم سحب تيار عالي هو Inrush Current لتوليد هذا الفيض التعويضي، كما في الحالة الأولى في الشكل (8– 3). فالمحول في هذه الحالة رجع في لحظة تكافئ فيضاً مقداره $-\Phi_{max}$ بينما الفيض المتبقي يكافئ قيمة موجبة قدرها Φ_R، ولتعويض هذا الاختلاف يتم سحب Inrush Current بقيمة عالية.

وكما نلاحظ من الشرح فإن تيار الاندفاع ليست له قيمة محددة، فقد يكون عالياً جداً كما هو واضح في الحالة الأولى في الشكل (8– 3)، إلا أنه في بعض الأحيان يكون قريباً من التيار العادي في حال تحقق شرطان، هما:

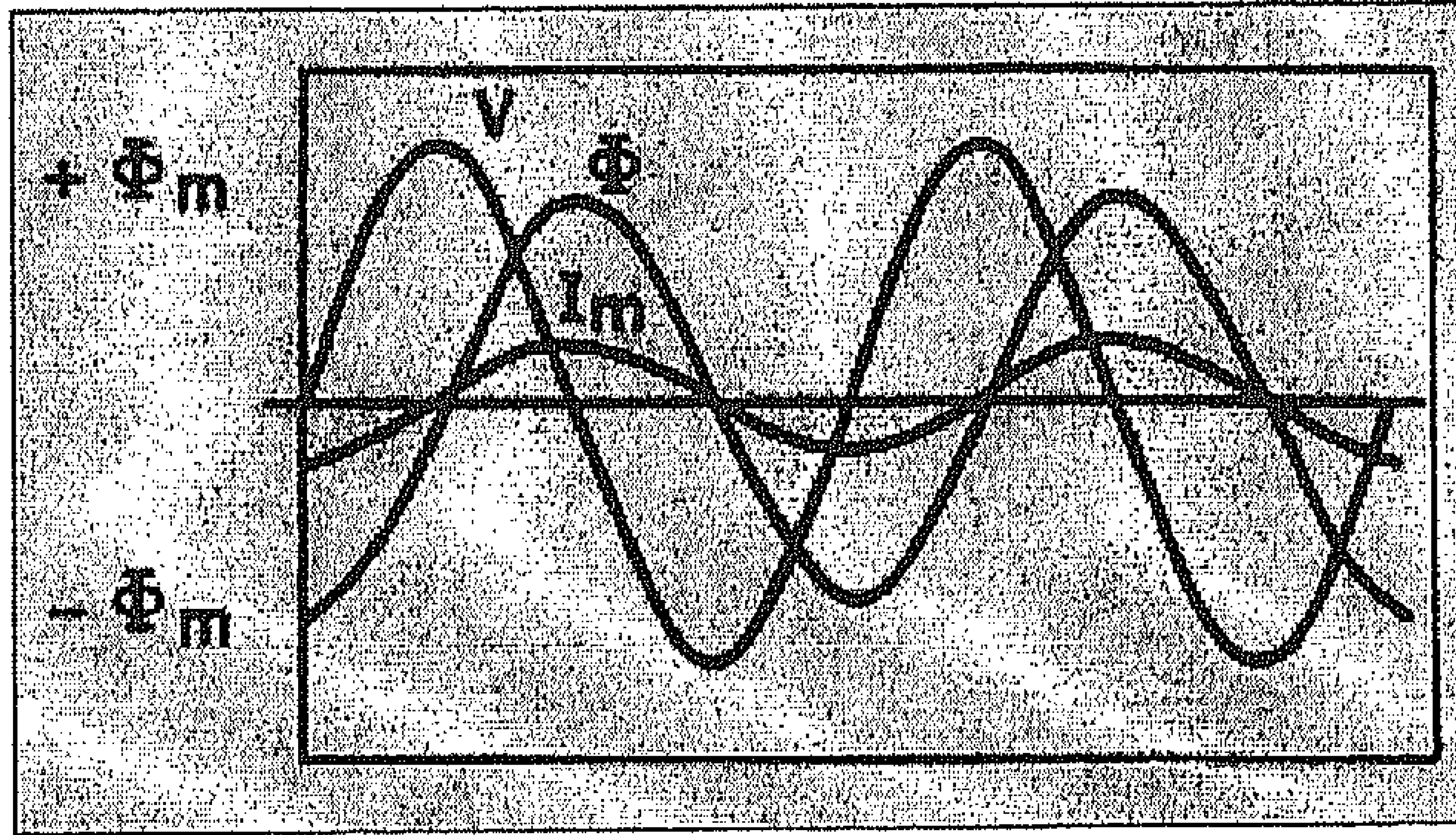
1) ألا يكون هناك فيض متبقي داخل المحول.
2) إذا تصادفت لحظة الدخول مع لحظة التيار العظمى I_{max} والتي يكون فيها الفيض أقل ما يمكن، حيث من المعلوم أن الفيض دائماً متأخر بزاوية 90^o عن التيار $(I\alpha\frac{d\emptyset}{dt})$.

وبين هاتين الحالتين توجد العديد من الحالات التي تجعل، كما قلنا، قيمة تيار الاندفاع غير محددة لا شكلاً ولا قيمة، لأنه يعتمد أساساً على قيمة متغيرين عشوائيين: الأول هو قيمة الفيض المتبقي، والثاني هو لحظة دخول المحول في الخدمة، ولذا يختلف قيمة هذا التيار بين الأطوار الثلاثة كما في الشكل (9–3).



شكل (9– 3) تيار الاندفاع في الأطوار الثلاثة

ولو أنه أمكن التحكم في لحظة الغلق لتكون عند قيمة الجهد العظمى، وفي الوقت ذاته إن لم يكن هنالك فيض متبقي في القلب الحديدي فإن تيارات الاندفاع ستختفي وتصبح قيمتها هي نفس Magnization Current في فترة Steady State كما هو موضح في الشكل المرفق (10– 3).

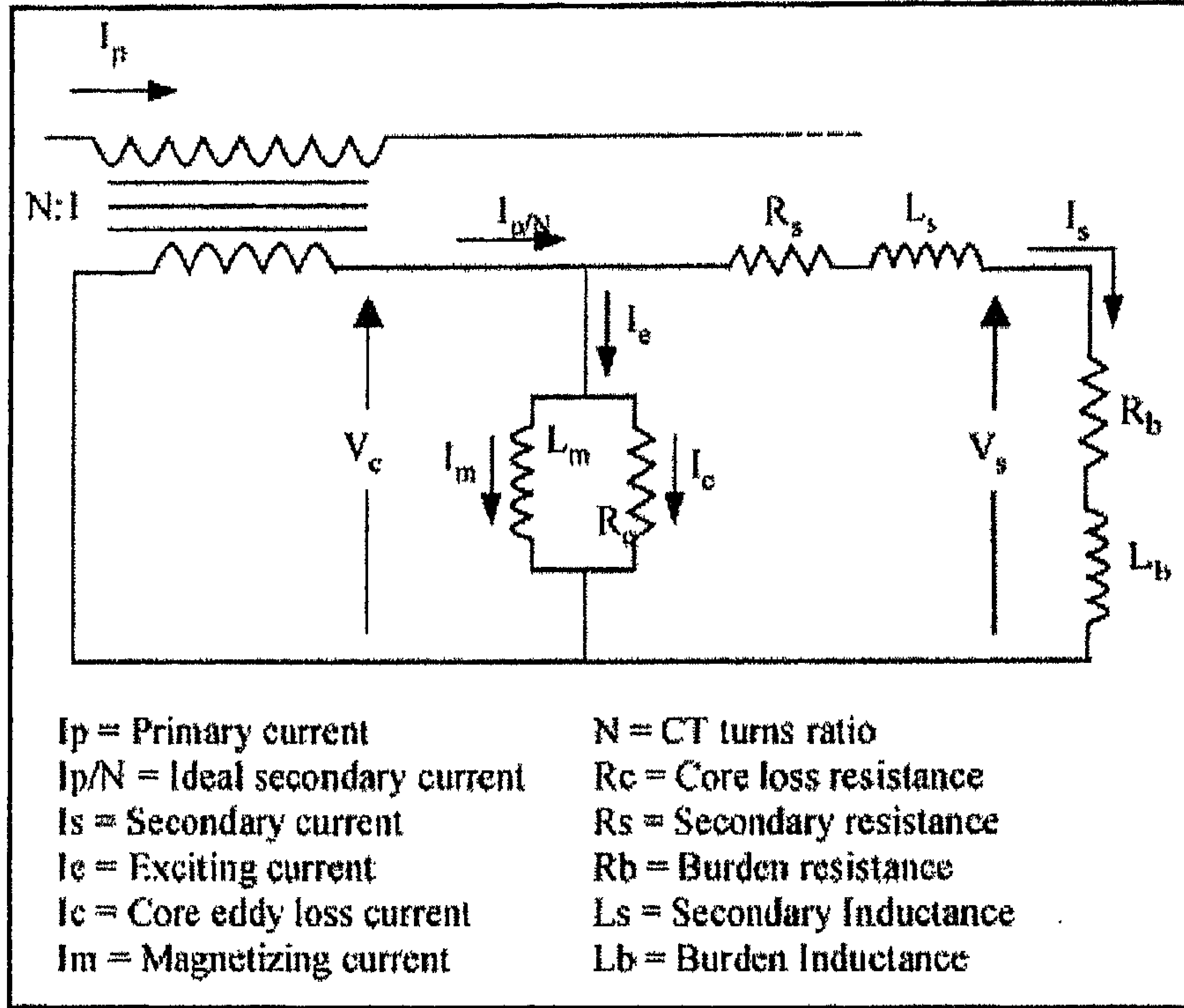


شكل (10– 3) تيار الاندفاع في غياب الفيض المتبقي ولحظة غلق عند قيمة عظمى للجهد

3.4.4 خطورة تيار الاندفاع:

إن تيار الاندفاع يظهر فقط عند بداية التشغيل، وقد تصل قيمته إلى خمس أو ستة أمثال التيار الطبيعي، بل قد تصل إلى عشرين مثل التيار الطبيعي حسب سعة المحول، لكن هذا ليس أساس المشكلة خاصة أن تيار الاندفاع لا يستغرق سوى

ثانية أو أكثر قليلاً، كما أن قيمته تتناقص سريعاً خلال هذه المدة الوجيزة، ولكن المشكلة الكبرى أن هذا التيار لا يمر إلا في الجانب الابتدائي للمحول فقط، وهو الجانب الموصل على المصدر، ولا يمر ف بالجانب الثانوي، لأنه يمر خلال ما يسمى بالدائرة المغناطيسية بالمحولات Magnetizing Circuit، وهي تظهر في الشكل (3 –11).



شكل (11– 3) الدائرة المكافئة للمحول

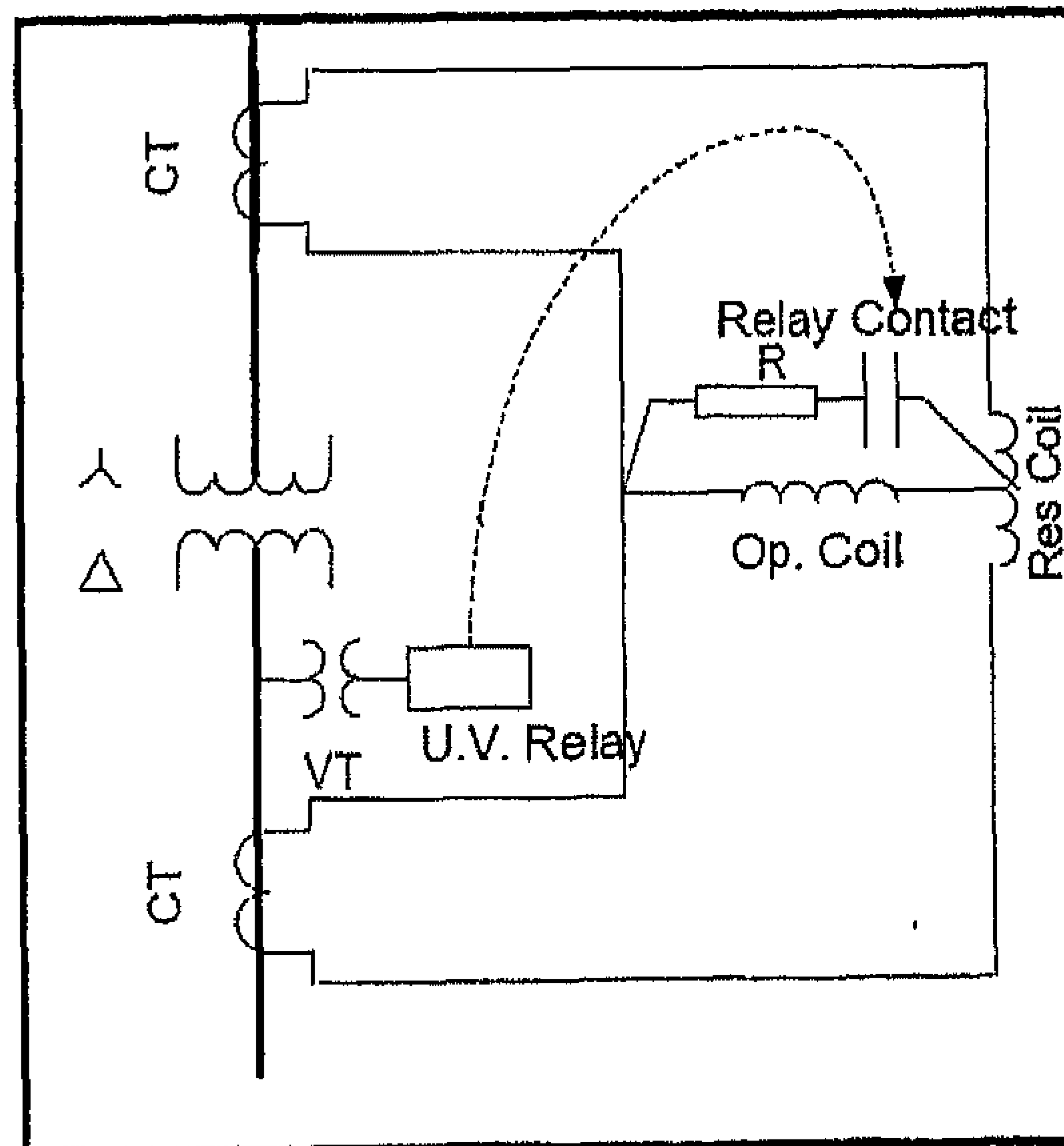
وبالتالي فإن أي جهاز حماية تفاضلي سوف يستشعر أن هنالك تيار داخل إلى المحول I_P يختلف بقيمة كبيرة عن التيار الخارج I_S، لذا سوف يتسبب بفصل خاطئ للمحول من خلال Differential Relay، ويعتبر فصل خاطئ لأنه لم يفصل لوجود خطأ في المحول وإنما بسبب هذه الظاهرة الطبيعية الموجودة في كل المحولات والتي سوف تختفي بعد فترة وجيزة من التشغيل.

3.4.5 طرق تجنب الفصل الخاطئ بسبب تيار الاندفاع:

ويوجد عدة طرق لتجنب عمل أجهزة الحماية خلال فترة تيار الاندفاع، ومنها:

يقوم أحياناً بعض مهندسي التشغيل بتعطيل الوقاية لمدة ثواني، حتى يدخل المحول في الخدمة وينتهي تيار الاندفاع، ثم يعيدوها مرة أخرى. وهذا الحل على بساطته فيه خطورة كبيرة لأنه قد يتصادف حدوث عطل حقيقي أثناء بدء دخول المحول للخدمة ويتسبب هذا في تدمير المحول لأن الوقاية معطلة ولذا نستبعد هذا الحل تماماً.

ويمكن استخدام طريقة أقل خطورة وذلك بتقليل حساسية جهاز الحماية لفترة زمنية عقب تدخول المحول الخدمة ويتم ذلك بتوصيل مقاومة على التوازي مع ملف التشغيل (Op. coil) الذي يمر به Operating Current كما في الشكل (3 –12)، حيث تقوم هذه المقاومة بسحب جزء من تيار التشغيل، وبالتالي يقل التيار المار في ملف التشغيل ولا يعمل الجهاز. وهذه المقاومة موصلة كما في الشكل على التوالي مع نقط تلامس يتم التحكم في فتحها وغلقها بواسطة Under voltage relay.



شكل (3 –12) تخفيض حساسية Differential Relay أثناء تيارات الاندفاع

والفكرة الأساسية لهذا النظام تعتمد على أنه في حالة وجود Inrush فإن جهد المحول لن ينخفض، بينما سيرتفع التيار، أما في حالة وجود عطل فسينخفض جهد المحول مع ارتفاع التيار، وبالتالي عند فصل المحول من الخدمة فإن Under Voltage Relay سوف يحس بانخفاض الجهد وتصبح نقطتي التلامس Short ويتم فتح نقطتي التلامس بعد فترة زمنية من رجوع المحول للخدمة ووصوله لقيمة الجهد الطبيعي، ومن ثم فقد نجحنا في تقليل حساسية الجهاز خلال الفترة الزمنية التي تعقب رجوع المحول للخدمة مباشرةً. لاحظ أنه خلال ظروف التشغيل الطبيعية يكون الجهد طبيعي ونقط التلامس مفتوحة وبالتالي لا تدخل المقاومة في الوضع الطبيعي في الخدمة.

ومن الطرق المشهورة لحل هذه المشاكل طريقة استخدام التوافقية الثانية Harmonic 2^{nd} في منع اشتغال جهاز الوقاية. وسبب اختيار 2^{nd} Harmonic هو أنه من تحليل إشارات تيارات الاندفاع وجد أنها غنية إلى حد كبير بهذه الدرجة من التوافقيات، حيث يمكن أن تصل نسبتها من 40:50% من قيمة التيار، بينما قيمة هذه التوافقية في حالة الأعطال الحقيقية لا تتعدى 7٪.

ولهذا فقد تم عمل مرشح (Filter) لاستخلاص قيمة 2^{nd}Harmonic من تيار الاندفاع، ثم بعد ذلك – وبناء على قيمة هذه التوافقية – يمكن إرسال إشارة منع اشتغال لجهاز الحماية Blocking Signal إذا تعدت قيمة 2^{nd}Harmonic مثلاً من 10٪ إلى 20٪، لأن ذلك يعني بالضرورة أن هذا التيار المرتفع هو تيار اندفاع، وليس نتيجة عطل، ولذا يجب عمل Blocking لـ CB.

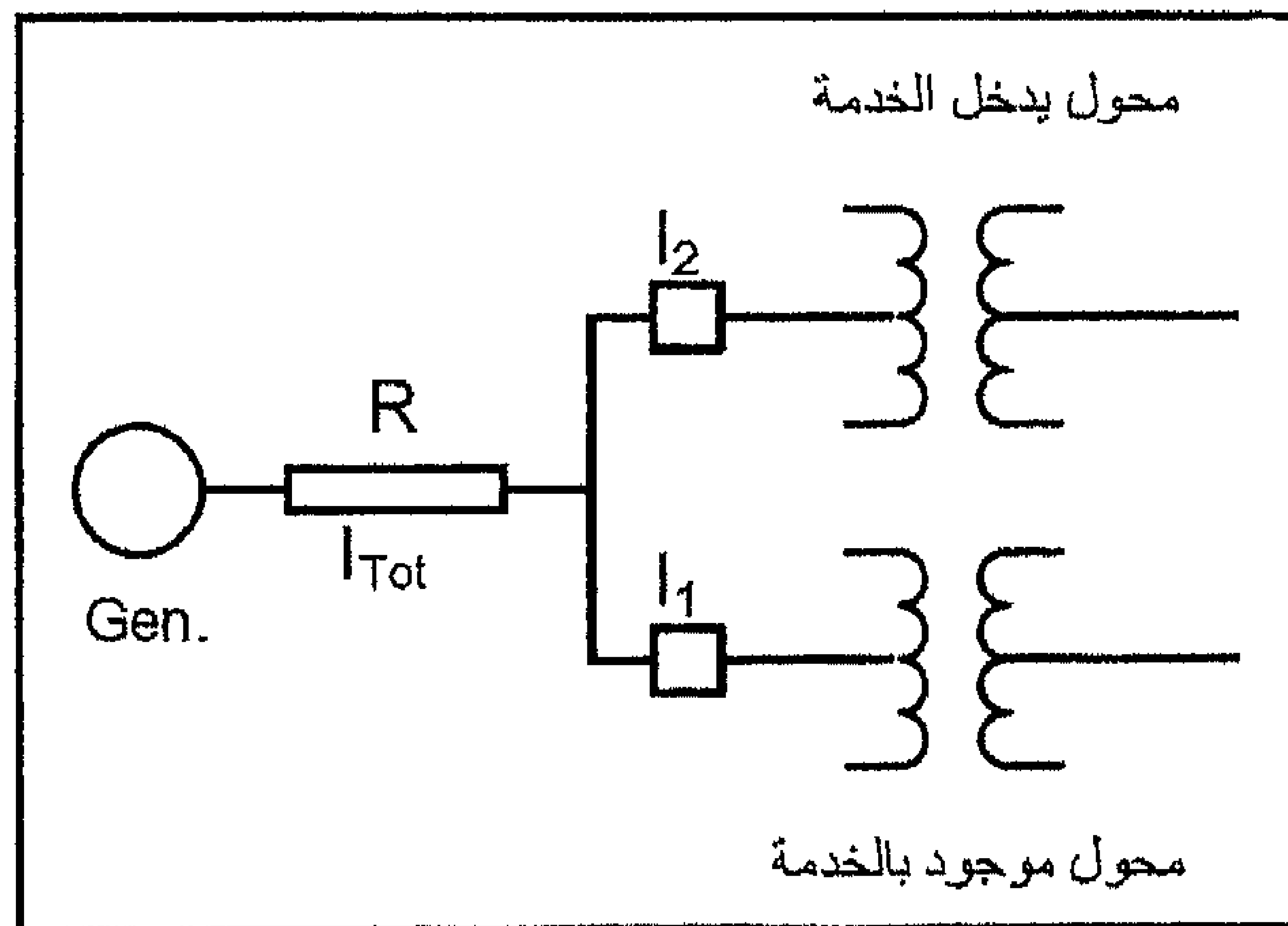
أما إذا كانت القيمة صغيرة فعندها لن يتم إرسال إشارة المنع هذه، ويترك لجهاز الحماية الحرية في العمل. ومثل هذا الأسلوب يتم استخدامه في أجهزة الحماية التقليدية، وحتى في أجهزة الحماية الرقمية الحديثة، والتي تتميز فقط في هذه النقطة بسهولة تنفيذ هذه الأفكار دون تعقيدات.

3.4.6 تيار الاندفاع عند ربط المحولات على التوازي Sympastic Inrush:

كما نعلم أنه يتم ربط المحولات على التوازي عند استخدام محولين متماثلين تماماً، وهذه الطريقة الشائعة في الشبكات الكهربائية، ولكن هناك مشكلة تظهر بتيار الاندفاع Inrush Current عند توصيل محولين على التوازي.

لنفترض الآن أن أحد المحولين في الخدمة، والآخر نريد إدخاله كما في الشكل (13– 3)، فعند دخول الثاني للخدمة فإنه سيسحب Inrush Current وهذا غير مستبعد. أما الغريب في الأمر، فهو أن المحول الأول الذي كان أصلاً في الخدمة سوف يمر به هو الآخر Inrush Current. مع ملاحظة أن تيار الاندفاع في المحول الموجود في الخدمة تكون قميته أقل من ذلك الداخل حديثاً، لكن المشكلة أن كل التيارين يظلان موجودان لمدة أطول من تلك التي يقضيها تيار الاندفاع في المحولات الموصلة منفردة، وسنفسر هنا هذه الظواهر تباعاً.

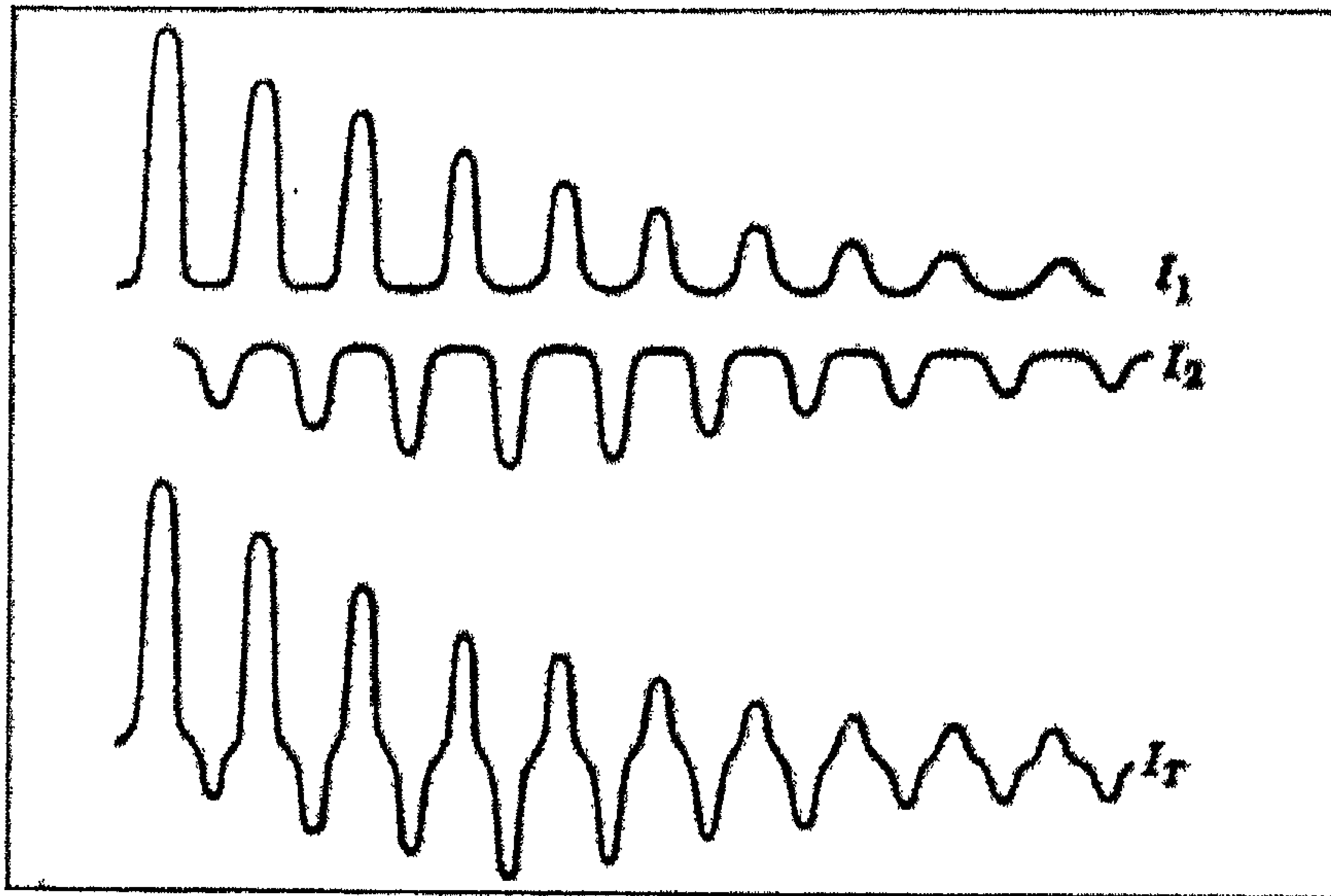
ويمكن فهم تفسير هذا التيار بصورة مبسطة حيث أن تيار الـ inrush للمحول الداخل للخدمة يجد أمامه مسارين متوازيين بعد مروره على المقاومة فيتوزع بالنسبة العكسية للمقاومات، وبالتالي يظهر مع المحول الموجد أساساً بالخدمة.



شكل (13– 3) المحولين الموصولين على التوازي

أما التيارين I_1 وI_2 وكذلك شكل التيار الكلي خلال المقاومة التي ظهرت سابقاً في الشكل (13– 3) موضحين في الشكل (14– 3).

وفي هذه الحالة يسمى تيار الاندفاع بـ Sympasatic Inrush، لأنه تيار عارض. وهذا التيار لن يتسبب في أي خطأ في تشغيل Differential Relay للمحولات إلا إذا كان هناك Relay واحد للمحولين معاً، لذا فأفضل الطرق لاكتشاف وتجنب هذه النوعية من تيار الاندفاع في المحولات الموصلة على التوازي هي استخدام نظم حماية منفصلة لكل محول على حدة. أما إذا تم استخدام نظام حماية واحد للمحولين معاً فالأمر سيتطلب وجود دوائر أكثر تعقيداً لاكتشاف وتجنب المشكلة.



شكل (14– 3) تيارات الاندفاع في محولين على التوازي

ونذكر هنا بأن تيار الاندفاع سوف يستمر لمدة أطول من المدة الزمنية في حالة وجود محول واحد فقط، ويعود سبب طول المدة أن Time Constant لهما أطول من ذلك الخاص بمحول واحد. فمن المعروف أنه عند غلق دائرة مكونة من L,Inductance موصلة على التوالي مع مقاومة R عند لحظة يكون الجهد فيها

يساوي صفر فإن التيار المسحوب في هذه الدائرة يمكن التعبير عنه من خلال المعادلة التالية:

$$i = \frac{E_m}{\omega L} e^{\left(-\frac{R}{L}\right)t} + \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(\omega t + \theta + \phi)$$

معادلة $(3-1)$

والجزء الأول من المعادلة يعرف بـ DC Component ويختفي بعد فترة وجيزة تتوقف على قيمة (L/R) والتي تسمى Time Constant. وكما هو واضح من المعادلة فإن قيمة Exponential Component تصل إلى الصفر عندما تكون "t" كبيرة. لاحظ أنه كلما قلت L كلما زادت المدة الزمنية التي يحتفظ فيها التيار بقيمة كبيرة، وهذا ما يحدث عند ربط المحولين معاً على التوازي فإن L المكافئة لهما تكون أصغر من L الخاصة بكل واحد منهما.

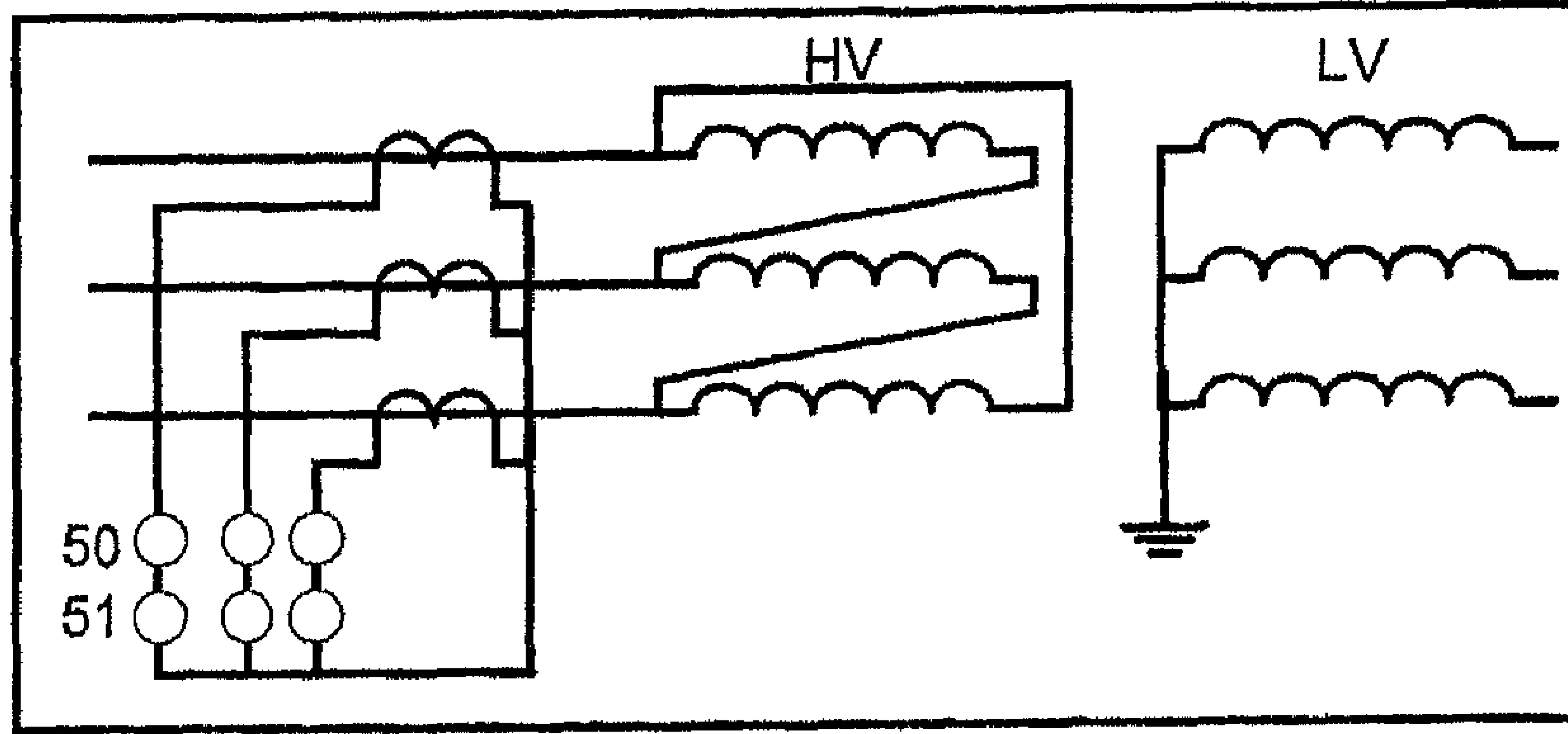
3.5 حماية المحولات باستخدام Over Current Protection:

إن الحماية التفاضلية لا تستطيع اكتشاف بعض الأخطاء عند استخدامها في حماية المحولات من أبرز هذه الأخطاء:

أ. الحمل الزائد Over Load.

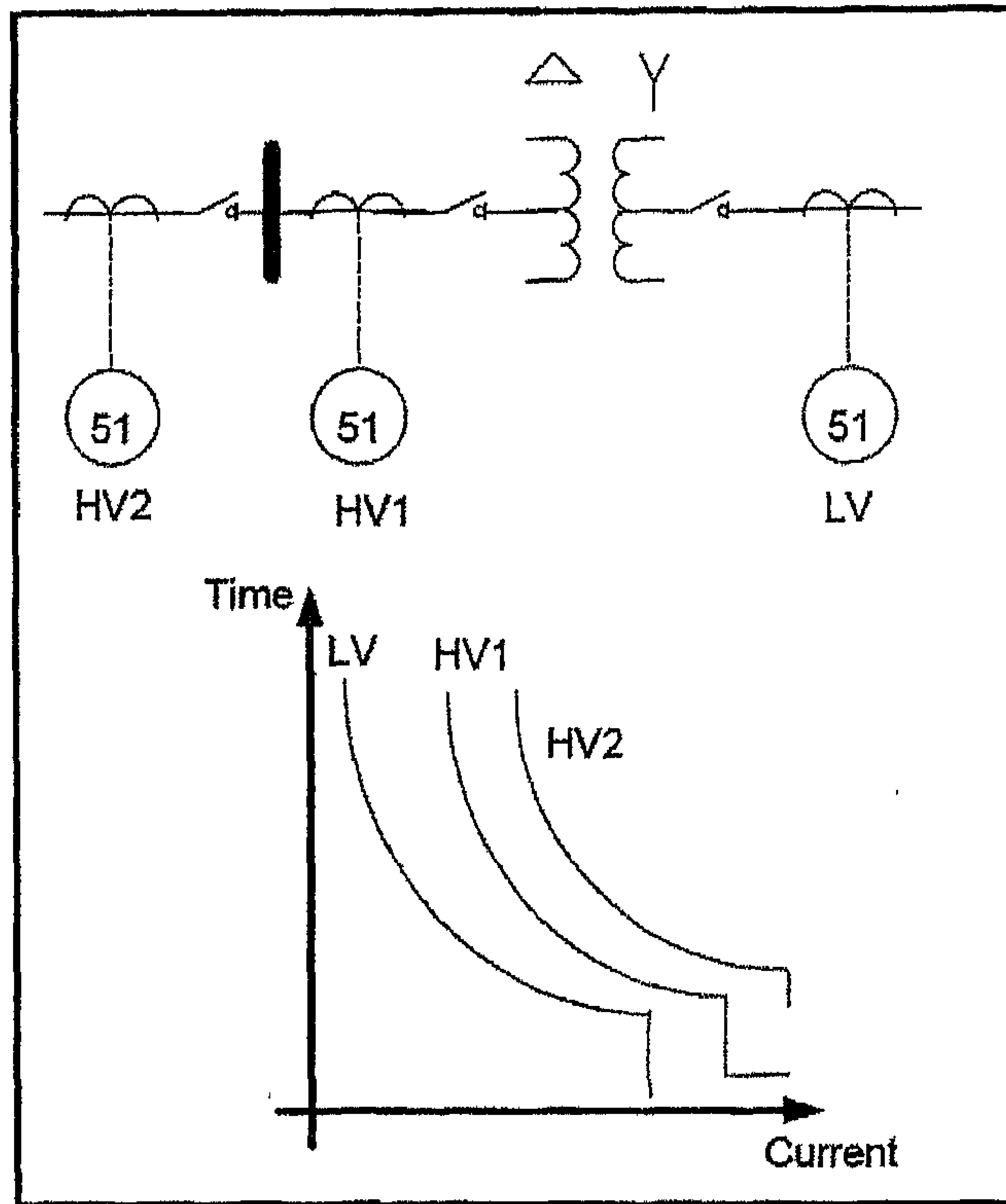
ب. الأخطاء الخارجية.

حيث أن هذه الأخطاء لا يتم اكتشافها إلا من خلال استخدام OC Relay وبعض الأخطاء الخطيرة يكون Instantenous OC Relay هو الأسرع في فعلها والشكل (15- 3) يظهر الجهازين معاً.



الشكل (15– 3) حماية المحول باستخدام OC – Relay

وهنا لا بد لنا أن ننوه بضرورة مراعاة اختلاف زمن الفصل OC Relay على جهة HV عن الموجود في جهة LV والذي يجب أن يكون هو الأسرع، كما هو موضح في الشكل (16– 3).



شكل (16– 3) التنسيق بين اجهزة OC على جانبي المحول

3.5.1 الأثر الحراري في المحول Over heat:

عند مرور تيارات عالية جداً في ملفات الابتدائي والثانوي في الظروف الطبيعية، ينجم عنها كميات حرارية كبيرة في الملفات، وهذه الكميات الحرارية لا بد من التخلص منها أول بأول حتى لا تتراكم داخل المحول وتتسبب في انهيار العازل لهذه الملفات.

لذا تم إيجاد بعض الطرق والأنظمة للتبريد في المحولات تعتمد على حجم المحول وقدرة المحول والظروف الطبيعية التي سيعمل بها المحول، ونلخص هذه الطرق كالآتي:

أ. التبريد الطبيعي (بالهواء).
ب. التبريد بالهواء القصري Forced Air Cooling.
ج. التدوير الطبيعي للزيت Natural Oil Coolling.
د. التدوير القصري للزيت Forced Oil Colling.

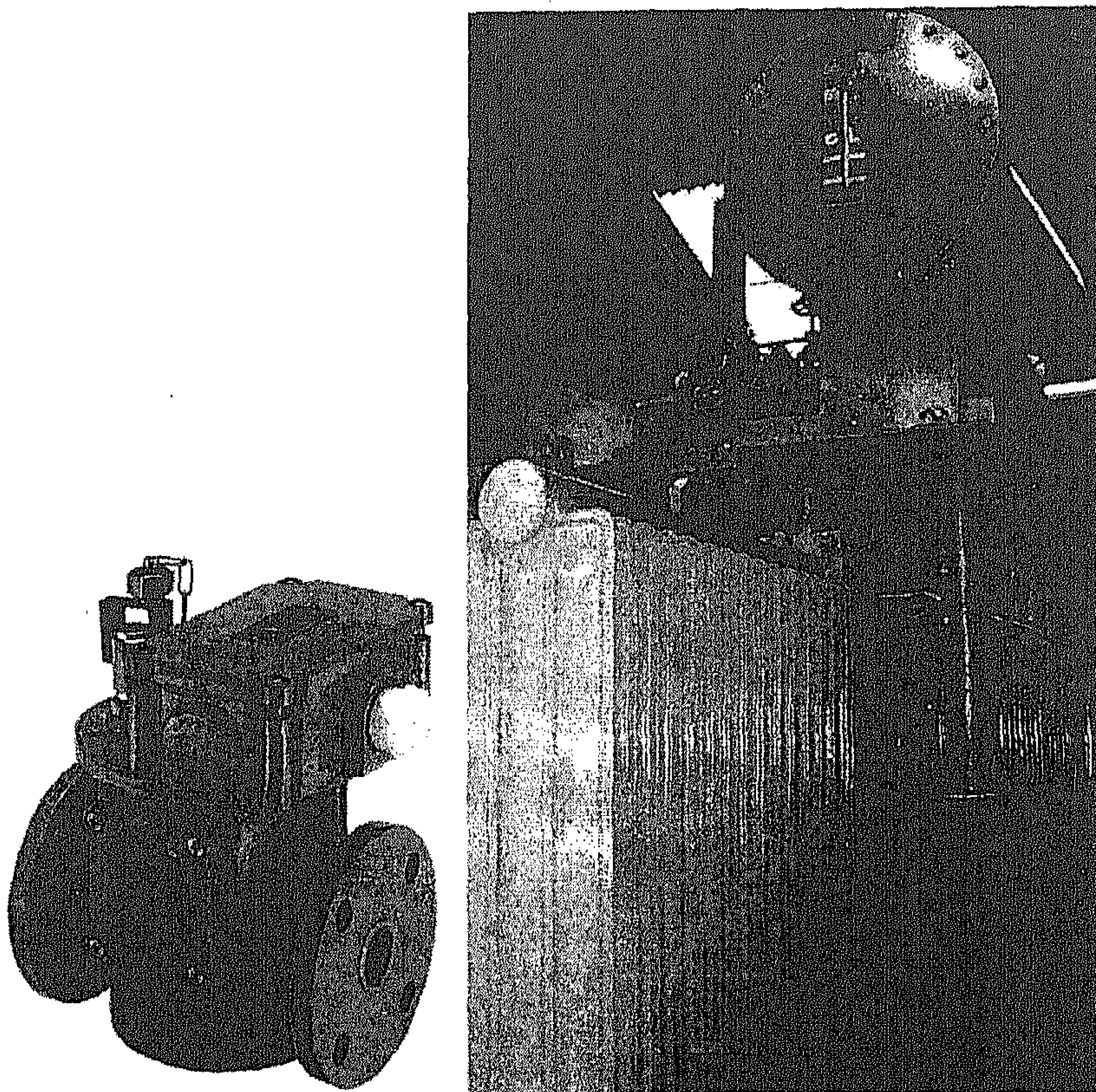
3.5.2 التبريد باستخدام الزيت:

الوظيفة الأساسية في المحولات هي العزل والتبريد، ويوجد بكل محول خزان زيت رئيسي تغمر به الملفات الابتدائية والثانوية للمحول، كما يوجد خزان تعويضي مركب على الخزان الرئيسي (انظر الصورة 1–3)، ويتصل بالخزان الرئيسي عن طريق أنبوب، ويتميز بوجود وحدة تنفيس تسمى خزان التمدد، وهو يحافظ على جعل الخزان الرئيسي مملوء بالزيت في جميع الأوقات مما يتيح فرصة التمدد والانكماش نتيجة مرور تيار عالي، وقد يصل وزن الزيت في محولات الجهد العالي إلى حوالي 90 طن، في حين أن وزن المحول بدون زيت 360 طن وهذا يوضح أهمية زيت التبريد.

ويتمتع الزيت المستخدم في المحولات بمواصفات خاصة ومن أهم هذه المواصفات أن يكون عازلاً كهربائياً، ويكون نقي بحيث يخلو من أي شوائب أو أحماض ويتمتع بدرجة حرارة تبخر عالية، وألا يحتوي أي نسب رطوبة.

3.5.3 استخدام جهاز بوخلس Buchholz Relay:

خزان احتياطي للزيت للحفاظ على كمية الزيت يتم استخدام المحول ضمن الكمية المطلوبة، لذا يتم تركيب بين خزان الاحتياطي والمحول نفسه جهاز يسمى Buchhloz الموضح في الصورة (3 – 3).



صورة (3 – 3) جهاز بوخلس ومكان تركيبه في المحول

أنها قد تتسبب في كسرها، لذا لكي نتجنب هذه المشكلة لا بد لنا من إيجاد طريقة لمعرفة ما إذا زادت قيمته عن الحد المسموح بها.

وإحدى هذه الطرق هي طريقة Volts – per – Hertz والتي تعتمد في فكرتها على أن الفيض يتناسب طردياً مع الجهد المتولد، ويتناسب عكسياً مع التردد، أي أن:

$$\Phi \; \alpha \; \frac{V}{F}$$

ويمكن استنتاج العلاقة السابقة أيضاً من المعادلة العامة:

$$V = 4.44 \, N \, \Phi \, F$$

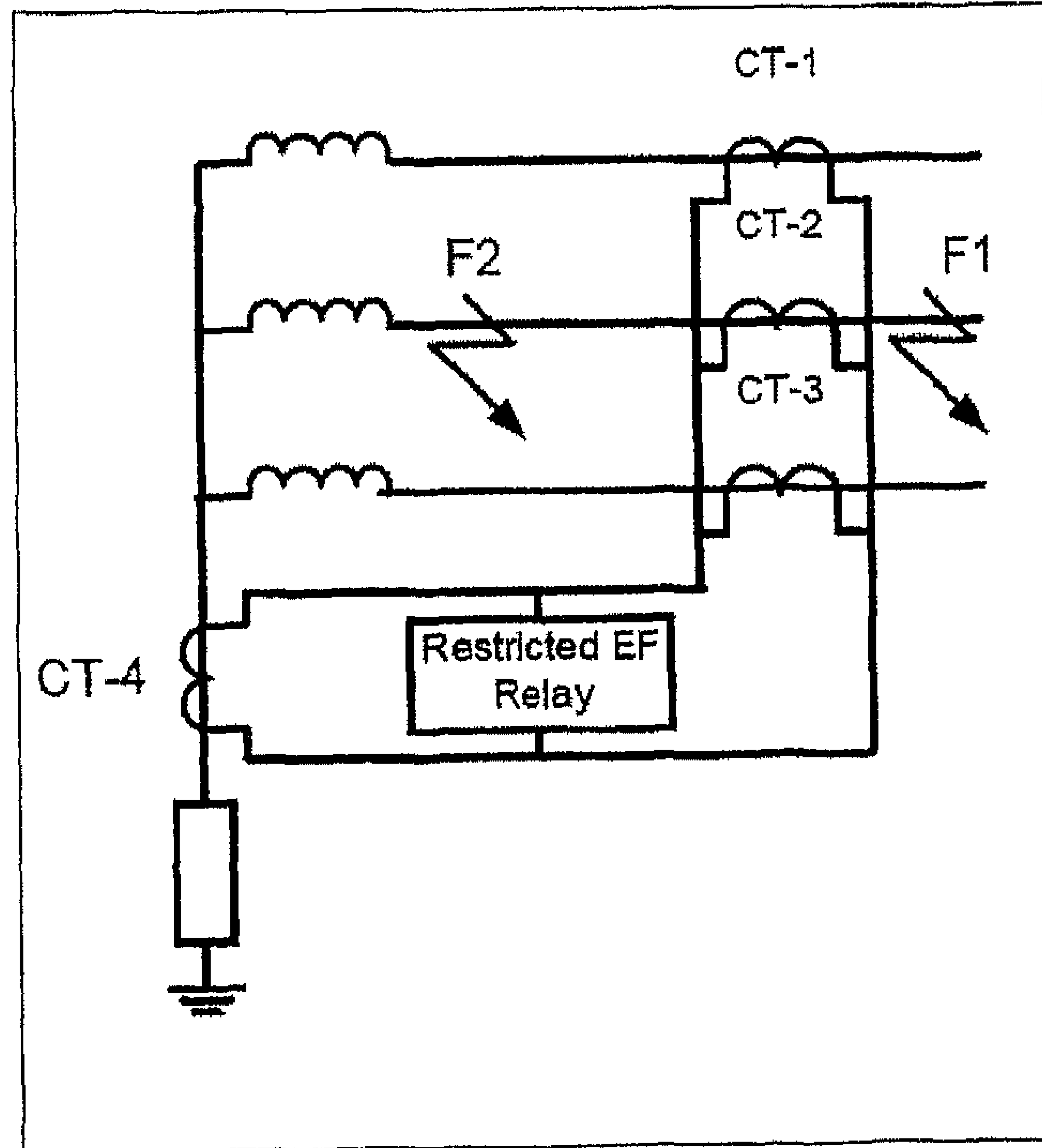
وبالتالي فيمكن قياس الفيض (أو بمعنى أصح أمكن قياس كمية تتناسب مع الفيض) باستخدام هذه الكمية الجديدة: (V/F)، فإذا ارتفع الفيض عن قيمة محددة فمعنى ذلك أن الجهد سيرتفع، وأن التردد سينخفض وتصبح الكمية (V/F) عالية جداً، فيتم فصل المحول.

ومن أبرز الحالات التي تظهر فيها أهمية هذا النوع من الحماية هي الحالة التي يتم فيها حماية المولد – المحول كوحدة واحدة. خاصةً عند خروج التوربين من الخدمة مع بقاء منظم الجهد (Voltage Requlator) في المولد يعمل. فعند خروج التوربين من الخدمة فجأة فإن السرعة تتناقص خلال الفترة التي تعقب فصل التوربين حتى تتوقف تماماً.

وبالتالي سيقل التردد، لكن منظم الجهد الذي لا يزال بالخدمة سيحاول رفعه مما سيترتب عليه أن النسبة (V/F) ستكبر جداً، وهذا معناه أن الفيض قد ارتفع مستواه إلى درجة الخطر، ويجب فصل الوحدة تماماً، نفس المشكلة يمكن أن تحدث إذا تم فصل حمل كبير بصورة فجائية في غياب منظم الجهد.

3.7 الوقاية الأرضية لمنطقة محددة Restrickted EF:

في حالة تأريض المحول خلال مقاومة عالية يصبح استخدام Over Current العادي أو استخدام الـ Earth Fault العادي غير مناسب، لأن تيار العطل غالباً ما يكون منخفضاً. وفي مثل هذه الحالات يلزم استخدام وقاية ضد الأعطال الأرضية تكون أكثر حساسية وهي ما تعرف بـ Restricted earth fault Protection والميزة الأساسية لهذه الطريقة التي تظهر في الشكل (17– 3) مقارنة بطرق الـ EF Protection التقليدية هي أنه في هذه الطريقة لا يعمل الجهاز إلا إذا وقع العطل داخل المنطقة المحمية فقط، والتي تحدد حدودها بمواقع الـ CTs، لاحظ أنه لو استخدم EF العادي فإن أي عطل أرضي قد يتسبب في تشغيل الجهاز حتى لو كان العطل خارجياً.

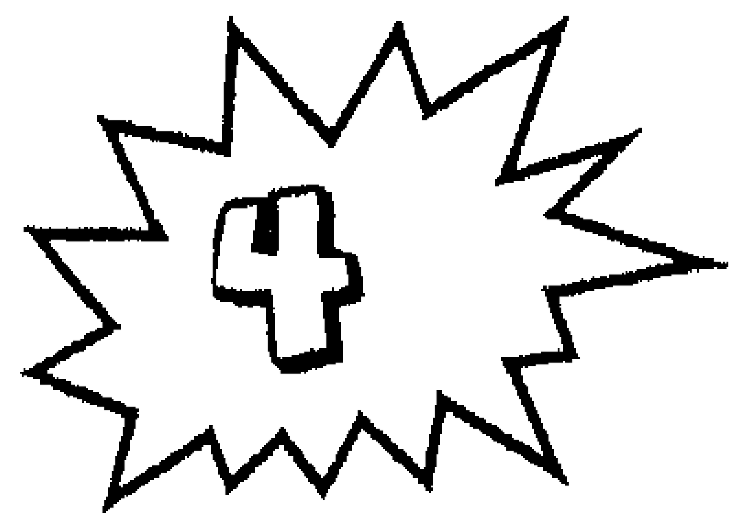


الشكل (17– 3) الحماية باستخدام Restricted EF Relay في المحولات

فلو حدث العطل خارج المنطقة المحمية (مثلاً عند نقطة F1 في الشكل (3–17)) فإن التيار الذي يرجع من خلال CT4 الموجود في دائرة الـ Neutral سيساوي تقريباً العطل في 3 –CT، حيث تهمل قيم CT–1 وCT–2 مقارنة بقيمة تيار العطل، وحيث أن اتجاه التيار في CT–4 يعاكس اتجاه التيار في CT–3 فسيكون التيار داخل جهاز الوقاية يساوي صفراً في حالة الأعطال الخارجية. أما لو حدث العطل داخل المنطقة المحمية (عند F2 مثلاً) فسيكون هناك فرق كبير بين مجموعة التيارات الأخرى التي ترجع من خلال CT1 + CT2 + CT3 وبين التيار المار في CT4، مما يؤدي في النهاية لاشتغال الـ Relay.

ولمنع حدوث تشغيل خاطئ في الظروف العادية نتيجة وجود اختلاف صغير بين تيارات الأوجه والتيار الراجع في CT4 فقد أضيفت مقاومة توازن Stablizing Resistance على التوالي مع EF Relay (غير مرسومة في الشكل السابق) بحيث يكون الجهد الذي يصبح بين طرفي الـ Relay أصغر بعد إضافة المقاومة، وذلك لتأثره بـ Voltage Drop الذي ظهر على المقاومة التي أضفناها، وبالتالي يصبح تأثير هذه التيارات معدوم في الحالة العادية، بينما لن تؤثر هذه المقاومة في حالة حدوث أعطال داخلية رافتاع قيمة تيار العطل وعدم وجود تيار معاكس، في حالة الأعطال الخارجية فإن التيارات بطبيعتها تكون عالية لكنها متساوية داخل الجهاز ومختلفة في الاتجاه، فيكون مجموعها صفر، ولذا يسمى الجهاز بعد إضافة هذه المقاومة High impedance EF.

تجدر الإشارة إلى أن هذا النوع من الوقاية لا يمكن استعماله من ناحية الدلتا إلا إذا تم توصيل محول تأريض لتحليق نقطة تعادل.



الفصل الرابع

حماية المولدات الكهربائية

الفصل الرابع
حماية المولدات الكهربائية

4.1 المقدمة:

إن المولد العنصر الأساسي في منظومة القوى الكهربائية، ومن أهم عناصر المنظومة، لذا فقد تم الاهتمام به من حيث الحماية الكهربائية، لذا نجد العديد من الحمايات المستخدمة كالحماية التفاضلية، والحماية من الفيض الزائد، ومن الأعطال الأرضية، وضد زيادة التيار، كذلك الحماية من زيادة أو انخفاض الجهد، الحماية الاتجاهية وغيرها العديد من أنظمة الحماية.

ومن أهم المتطلبات الواجب توافرها في حمالة المولدات بقوة هي صفة التأمين Seciurity، بمعنى أن المولد لا يجب أن يفصل إلا في حالة الأخطاء الداخلية، أو الأخطاء الخارجية التي عجزت أجهزة الحماية الأخرى عن فصلها، وهذا يوجد بعض الصفات الأخرى التي يجب توافرها أيضاً نذكر منها الاعتمادية والاختيارية Reliability & Selectevity.

4.2 أنواع الأعطال في المولد:

يحدث داخل المودلد عدة أنواع للأخطاء، منها:

أ. انهيار العزل بين الملفات Inter – turn Faults.

ب. انهيار العزل مع تلامس Phase أو أكثر مع حدوث تلامس مع جسم المولد، ومثل هذه الأخطاء تصنف من الأخطاء الأرضية Earth Faults، ويمكن حدوثها داخل العضو الثابت Stator أو الدوار Rotor، ويعتبر مثل هذا الخطأ من أكثر الأخطاء حدوثاً.

ج. الأعطال بين الأطوار دون تلامس مع الأرض وهي الأعطال التي تسمى بـ Phase Faults، وهي نسبياً نادرة.

د. بالإضافة إلى مجموعة أخرى من الأعطال مثل فقدان مصدر توليد الفيض Loss of Excitation.

هـ. أو حدوث انعكاس في اتجاه مرور القدرة وعندها يصبح المولد كأنه موتور.

و. أو حدوث Unbalance بين الأطوار الثلاثة.

ز. ومن الأعطال أيضاً حدوث ارتفاع في السرعة.

ح. تحميل زائد أو أعطال ميكانيكية.

4.3 تأريض المولدات:

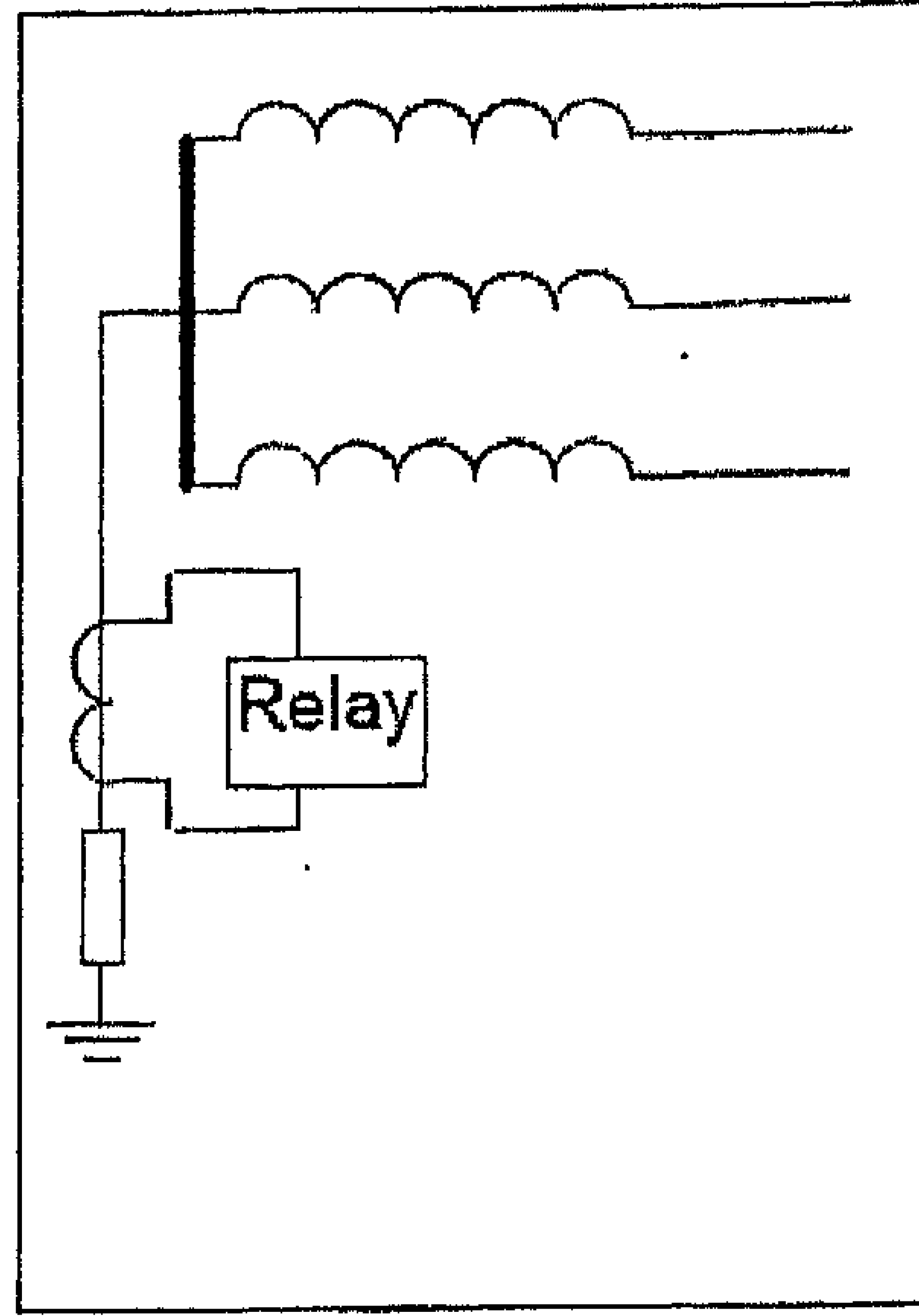
يتم استخدام عدة طرق لتأريض المولد، ولا بد من منظومة التأريض أن تحقق الأهداف التالية:

أ. تقليل تيار الخطأ.

ب. وضع أجهزة الحماية للمولد.

ج. الحد من تأثير Over Voltage Surges التي يمكن أن يتعرض المولد نتيجةً لأسباب خارجية من أهمها (الصواعق).

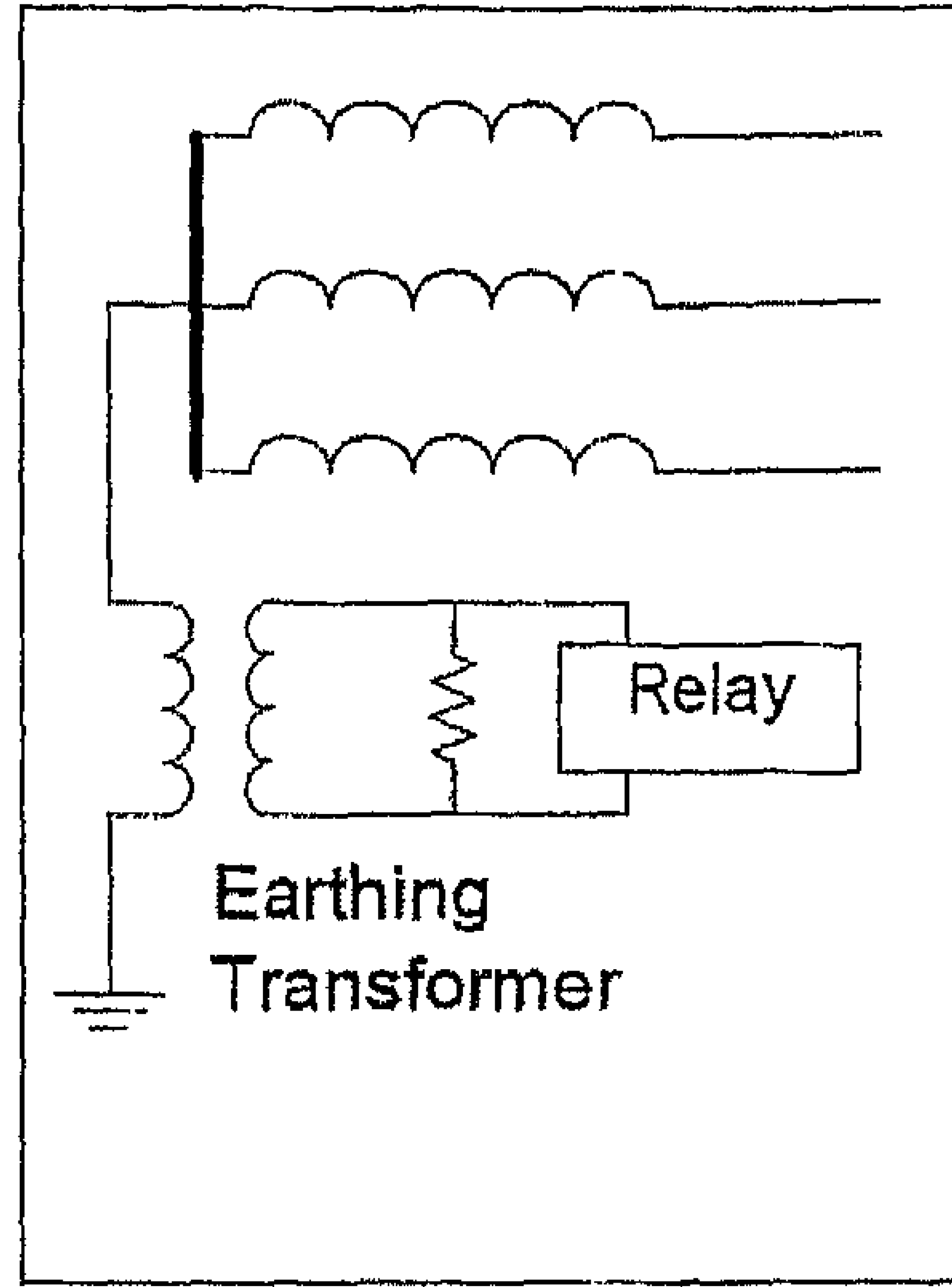
حيث أن هذه الطرق المستخدمة مبينة في الشكل (1 – 4) والشكل (2– 4) أدناه.



الشكل (1– 4) التأريض من خلال مقاومة

أما كيفية التأريض فقد توضع مقاومة عند نقطة التعادل كما في الشكل (1– 4)، وهذه المقاومة يمكن التحكم في قمتها بحيث تجعل تيار العطل لا يتجاوز في قيمته التيار الطبيعي للمولد، وكلما زادت قيمة مقاومة التأريض كلما انخفض تيار العطل.

أما في الحالة الثانية هي عند استخدام محول توزيع Distribution Eartig Transformer ففي هذه الحالة يستخدم النظام الذي يظهر في شكل (2– 4).



الشكل (2-4) استخدام محول تأريض

ولا بد لنا من ملاحظة أن المقاومة المستخدمة في الجانب الثانوي لمحول التوزيع مقاومة صغيرة لكن القيمة المكافئة لهذه المقاومة سوف تكون كبيرة عندما يراها الجانب الابتدائي طبقاً للمعادلة:

$$R_1 = R_2 * \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

وبالتالي فهي تكون مكافئة لمقاومة كبيرة موضوعة في الجانب الابتدائي.

4.3.1 المشاكل الناجمة عن ارتفاع مقاومة التأريض:

إن استخدام مقاومة تأريض عالية القيمة يوجد بعض المشاكل الأخرى، وهي:

أ. صعوبة اكتشاف الأعطال في حالة التيارات المنخفضة.

ب. ارتفاع قيمة الجهد عند حدوث العطل بصورة كبيرة تستلزم أن يكون العزل كبيراً.

ج. كلما زادت قيمة مقاومة التأريض كلما صعب التفريق بين الأعطال الأرضية التي يرجع تيارها خلال دائرة الأرضي، وبين تيار Unbalance Current الذي ينشأ عند عدم اتزان الأحمال على الأوجه الثلاثة، حيث يتسبب عدم الاتزان هذا في ظهور ما يعرف 3^{rd} Harmonic Current. وتيار التوافقية الثالثة هذا يكون عالياً لأن مركباته في الأطوار الثلاثة تجمع جبرياً لأنه من نوع Zero Sequence Currents، وهو بالتالي عكس تيار التوافقيات الأخرى التي تجمع مركباتها في الأطوار الثلاثة اتجاهياً، ولذا فقد يصل تيار التوافقية الثالثة هذا إلى 15٪ من تيار المولد، وهو يمر أيضاً خلال دائرة التأريض، ولذا يصعب تمييز تيار العطل الأرضي من تيار التوافقية الثالثة بسهولة في وجود مقاومة عالية في دائرة التأريض، إلا باستخدام طرق خاصة تكتشف تيار 3^{rd} Harmonic Current. وهذه الطرق أسهل ما تكون في حالة الوقاية الرقمية حيث يتم ذلك بالمعادلات داخل جهاز الوقاية.

د. تقليل حساسية الـ Differential Relay، فمن المعلوم أنه كلما زادت مقاومة التأريض كلما كان الفرق بين التيار الداخل والخارج من ملفات المولد صغيراً، لأن التيار يتوزع بالنسبة العكسية للمقاومات، وحيث أن مقاومة العطل مضافاً إليها مقاومة التأريض تكون كبيرة فإن جزءاً صغيراً فقط من التيار يتسرب للأرض، وبالتالي يحدث فرق صغير I_{in}، I_{out}، وهذا الفرق الصغير يتسبب في تقليل حساسية Diffential Relay لهذه النوعية من الأعطال، خاصة الأعطال من النوع Single Line to ground، وبالتالي فهي غالباً تفشل في اكتشاف مثل هذا النوع من الأعطال في حالة التأريض بمقاومة عالية.

4.4 الحماية الرئيسية في المولدات:

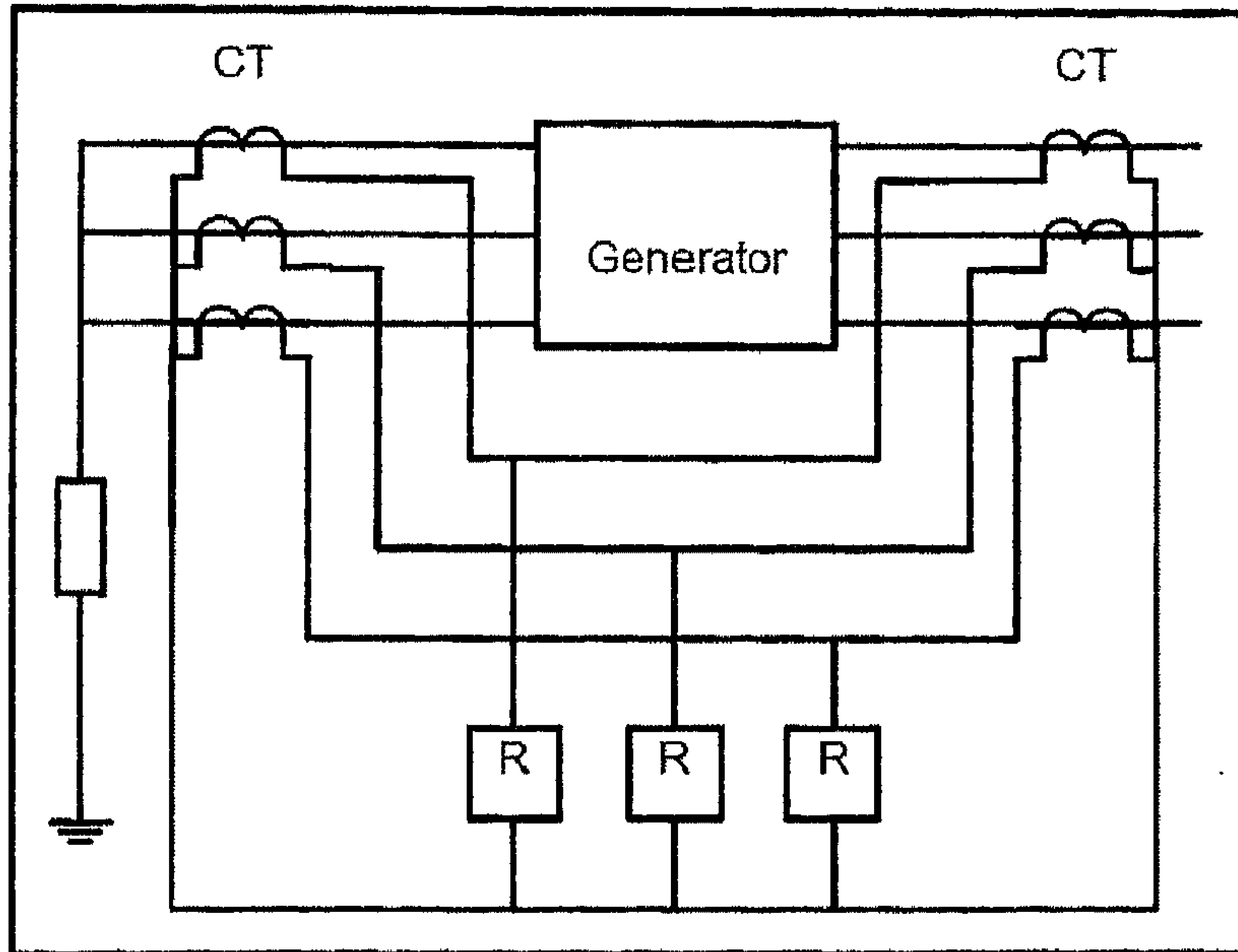
يتم استخدام العديد من أجهزة الحماية في المولدات، ولكن معظم الأعطال يتم التعامل معها من خلال نوعين رئيسيين من أجهزة الحماية:

أ. Biased Differential Protection.
ب. Over Current Protection.

وسوف نقوم بدراسة النوع الخاص بحماية المولدات وهو Voltage Dependent, OC Relay.

4.4.1 استخدام الحماية التفاضلية مع المولدات Biased Differental Protection:

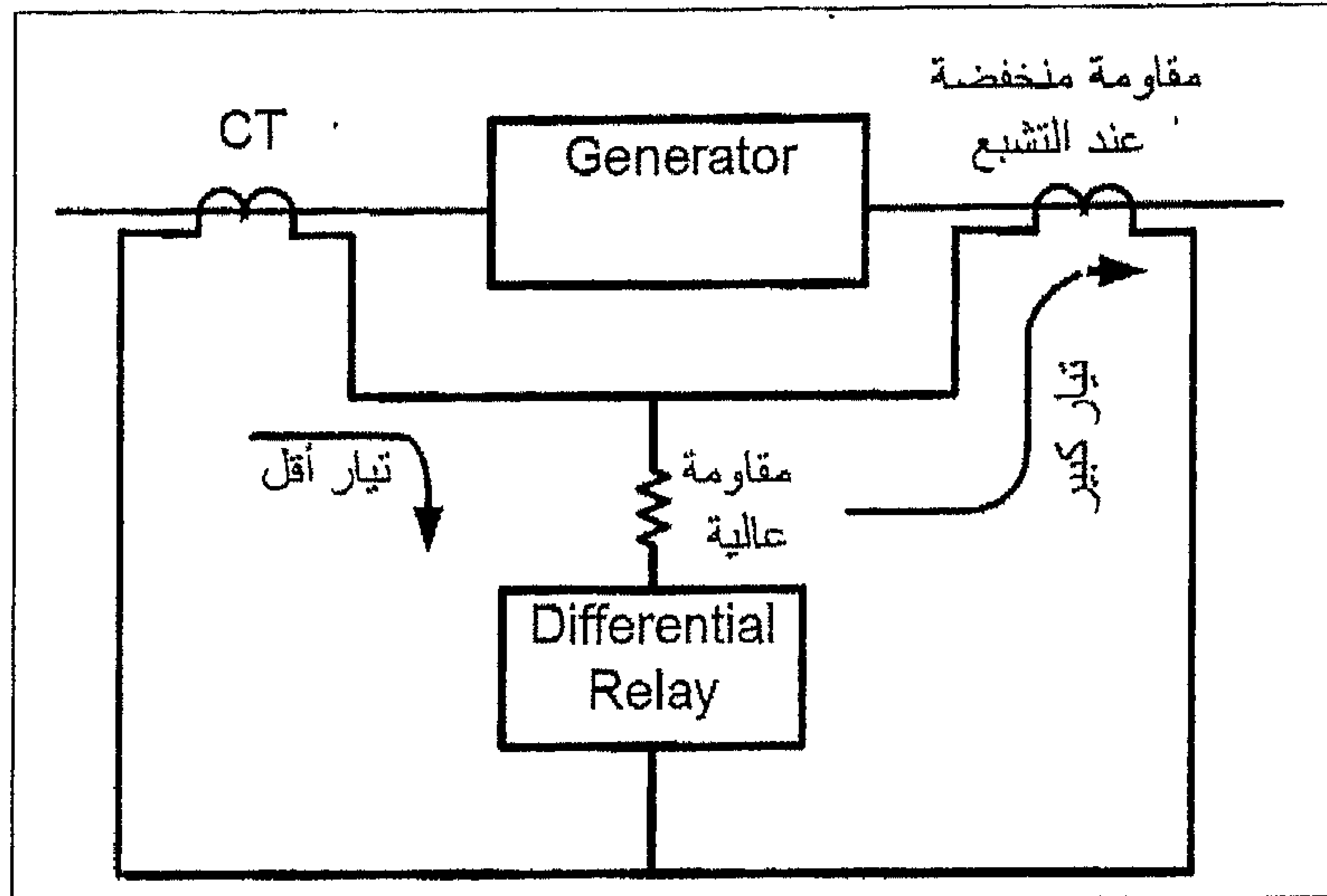
لقد سبق وأن قمنا بتوضيح هذا النوع من أجهزة الحماية ولكننا هنا سوف نقوم دراسته بشيء من التعديل والتفعيل بما يتطابق بما هو مستخدم مع المولدات والشكل (3– 4) يبين طريقة توصيله مع المولد.



شكل (3 – 4) الحماية التفاضلية مع المولد

إن الحماية التفاضلية المستخدمة مع المولد يتم إضافة مقاومة عالية على التوالي مع ملف التشغيل ويسمى High Impedance Differential

Biased Differential وهــو بالتــالي يختلــف نوعــاً مــا عــن Protection
Protection كما في الشكل (4-4).



شكل (4-4) الحماية التفاضلية باستخدام High Impedance

وهذا التعديل أدخل على Differential Relay حتى لا يتأثر بحدوث أي Saturation في CT الموجودة على طرفي المولد. فمن المعلوم أنه في حالة حدوث تشبع في أحد الـ CTs الخاصة بالمولد، نتيجة عطل خارجي مثلاً فإن Output Current يصبح مختلفاً تماماً عن Input Current ومن ثم فإن Differential Relay يرى هذا الوضع على أنه عطل داخلي فيصدر إشارة فصل خاطئة.

وللتغلب على هذه المشكلة فقد وضعت مقاومة عالية على التوالي مع Relay كما في الشكل (4-4). وبسبب هذه المقاومة العالية فإن جزء كبير من التيار سيفضل المرور في مسار Saturated CT ذي المقاومة المنخفضة عن المرور في مسار Relay ذي المقاومة العالية، ومن ثم فلا يتأثر الـ Relay بهذه المشكلة.

أما عند حدوث خطأ خارجي فإنه سوف يحدث أحد حالتين:

أ. إما ألا يحدث تشبع لأي من CTs وفي هذه الحالة لن يشعر الـ Relay بالعطل – كما هو مفترض– لأن مجموع تياري الدخول والخروج يساوي صفراً داخل الـ Relay لأنهما عكس بعضهما.

ب. إما أن يحدث تشبع لأحد CTs، بمعنى أن CT يصبح كأنه Short Circuit، وفي هذه الحالة وبعد إضافة المقاومة العالية السابق ذكرها فإن تيار العطل القادم من الـ CT الذي لم يحدث له Saturation سيجد أمامه طريقتين: أحدهما هو الـ Relay ومعه المقاومة العالية، والآخر هو الـ CT الذي دخل في الـ Saturation وبالطبع فإن جزءاً كبيراً من هذا التيار سيفضل المرور في الـ Saturated CT وبالتالي لن يمر سوى جزء صغير في الـ Relay ومن ثم لن يتأثر بهذا العطل الخارجي.

4.4.2 استخدام OC Relays في حماية المولد:

في بعض الأحيان يكون Overcurrent Relay هو الحماية الأساسية للمولد وذلك مع المولدات المنخفضة القدرة، أما مع المولدات عالية القدرة، فيكون واحد من عدة أجهزة حماية تركب على المولد. وعادةً يستخدم جهاز من نوع Time Delayed Overcurrent والذي سبق أن تم شرحه سابقاً.

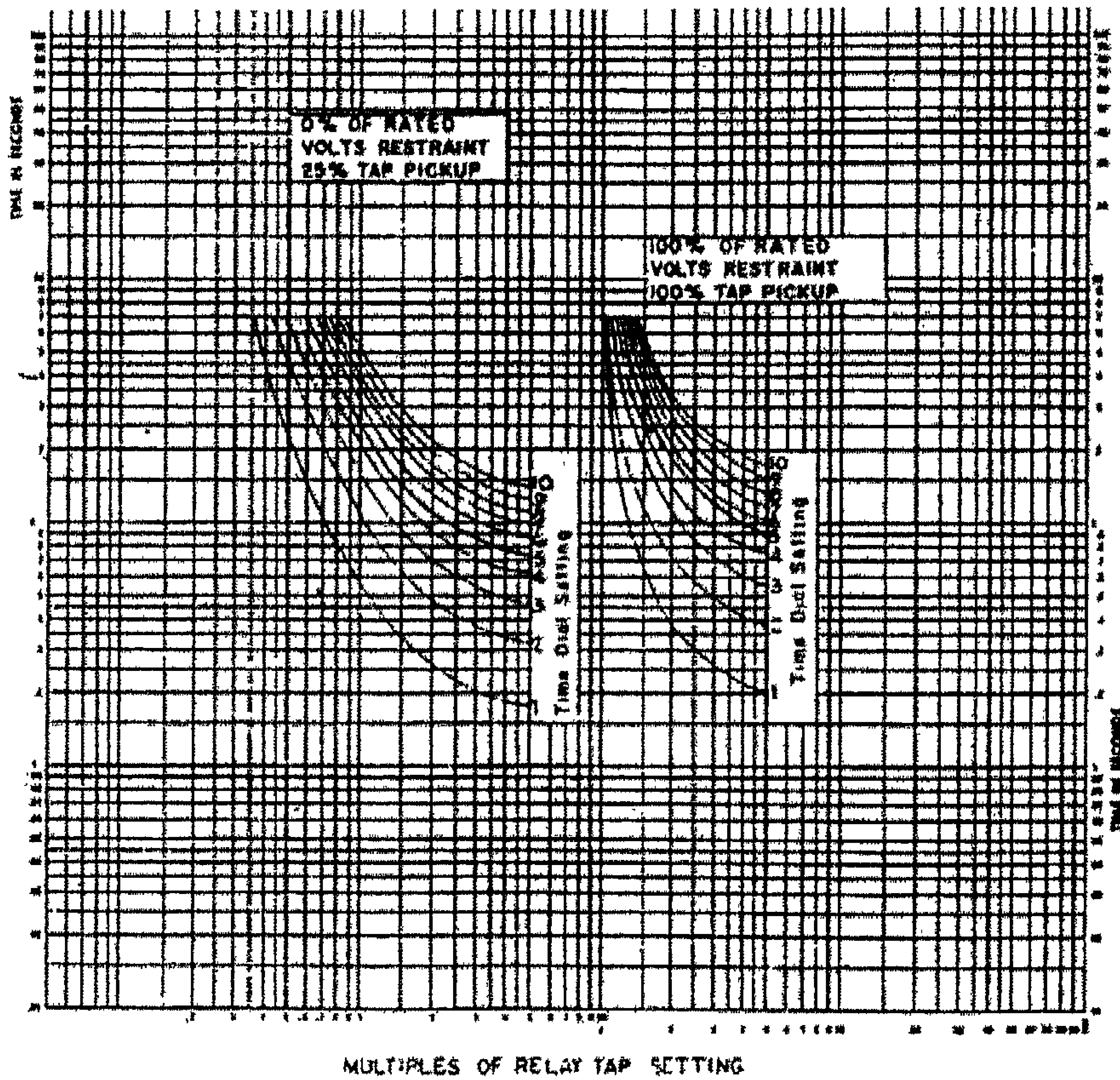
ولكن هناك نوع آخر من أجهزة OC يكثر استخدامه مع المولدات، وهو النوع المسمى (Voltage Dependent OC)، وفيه ميزات جديدة مضافة إلى فكرة OC الأصلية، حيث يمكنه تتبع جهد الدائرة، إضافة إلى تتبعه للتيار.

فمن المعروف أنه في بعض الأحيان يصعب على Overcurrent Relay العادي اكتشاف بعض الأعطال، خاصة تلك التي يكون فيها تيار العطل أقل من التيار الطبيعي للمولد، لأنه في حالة الأعطال يحدث انخفاض ملحوظ على جهد الـ BB الخاص بالمولد، وبالتالي يمكن الاستفادة من هذه الملاحظة في اكتشاف بعض الأخطاء.

وعند حدوث خطأ خارجي فسوف يحدث أحد أمرين:

أ. النوع الأول يسمى Voltage Controlled OC:

حيث يكون الجهاز مزود بمجموعتين من الإعدادات Setting ويتم الاختيار بينهما بناءص على قيمة الجهد المقاس. وعلاقة التيار بالزمن لهذا النوع تظهر في الشكل (5– 4). فالمجموعة الأولى من المنحنيات (وتظهر على يمين الشكل 5– 4) هي التي يتم ضبط الجهاز عليها في الأصل، وتتميز بعدم التأثر بحالة Overload – وهو حالة شائعة في المولدات وكثيراً ما تسبب فصل خاطئ – لكن الـ Relay لن يتأثر بها حتى لو ارتفع التيار بسبب عدم حدوث انخفاض في الجهد.



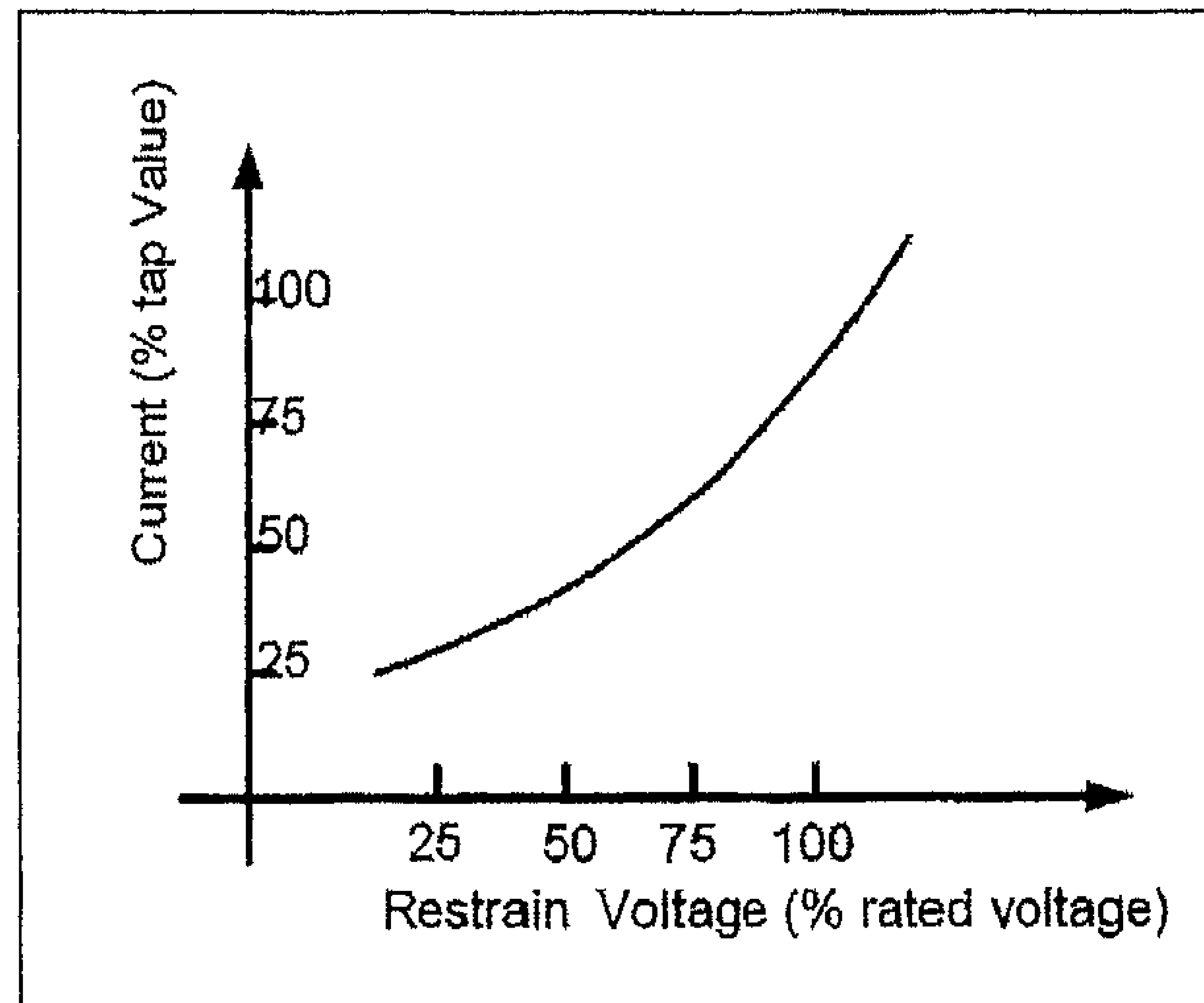
شكل (5– 4) Voltage Controlled Over Current Relay

ومن الجانب الآخر وعند حدوث عطل قريب جداً من المولد فإن المولد سيحدث له انخفاض شديد في الجهد قد يصل إلى قيمة تقريبية من الصفر وبالتالي لا يمر تيار عالي في أجهزة الوقاية رغم خطورة العطل، وعندها يتحول الـ Relay أتوماتيكياً بسبب انخفاض الجهد إلى المجموعة الثانية من المنحنيات والتي لها Pickup current منخفض، مما يساعد في زيادة حساسية الجهاز لاكتشاف هذه الأعطال. بالطبع يمكن التحكم في قيمة الجهد الذي ينتقل عنده الـ Relay إلى المجموعة الثانية من المنحنيات.

ب. Voltage Restrain:

يتم تغيير Setting أوتوماتيكياً على مدى واسع وليس فقط بين مجموعتين كما في النوع الأول، وبالتالي تصبح حساسية الجهاز في اكتشاف الأعطال أكبر.

وتظهر العلاقة بين الانخفاض في الجهد والانخفاض في قيم Setting كما في الشكل (6– 4). ويلاحظ أنه حتى مع الأعطال التي يكون التيار فيها منخفضاً جداً فإن هذا النوع من أجهزة الحماية يمكنه اكتشاف العطل طالما أن هناك انخفاض في الجهد.



الشكل (6– 4) زيادة الحساسية Voltage Restiain OC

4.5 طرق اكتشاف الأخطاء الأرضية EF:

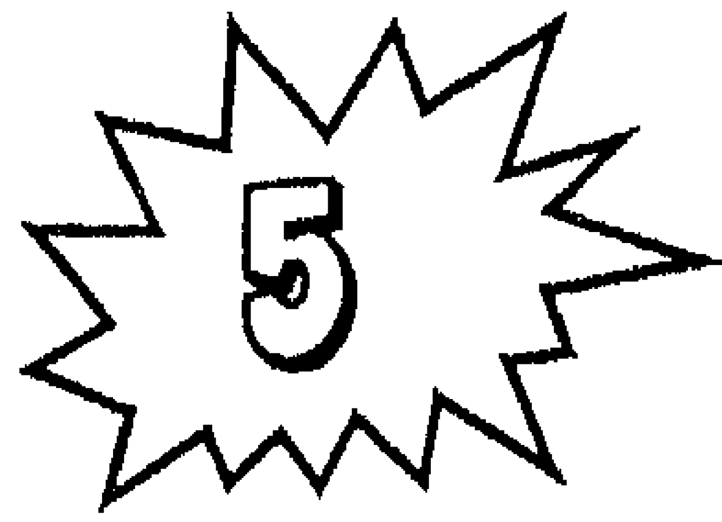
يمكننا استخدام نفس الطرق السابق ذكرها. وأهم الأنواع المستخدمة مع المولد هي Restricted Earth Fault Protection وهذا النوع تم التطرق إليه وشرحه سابقاً.

4.5.1 زيادة حساسية EF Relay:

عند وجود مقاومة عالية سواءً كانت المقاومة آلية تم وضعها في Neutral أو كانت طبيعة التربة، كذلك فلن تصلح الطرق التي سبق ذكرها في هذا الكتاب. لذا ففي مثل هذه الأحوال نحتاج إلى زياجة حساسية EF Relay ليتمكن من اكتشاف الأعطال ذات التيار المنخفض.

ومن أبرز الطرق المستخدمة لذلك هو استخدام Directional Earth Fault Relay والذي يبين الشكل (7– 4) طريقة توصيله. ومن خلال الشكل (7–4) نلاحظ بأن الجهاز يدخله Residual Current ويدخله أيضاً Residual Voltage.

الفصل الخامس



حماية قضبان التوزيع

الفصل الخامس

حملة قضبان التوزيع

Busbars Protection

5.1 المقدمة:

إن Bus bar (BB) من أقل عناصر منظومة القدرة الكهربائية يتعرض لحدوث أخطاء أو مشاكل، ولكنه الأخطر بين كافة عناصر منظومة القدرة، حيث أنه عند حدوث خطأ ما عليه يعتبر فصل جميع مصادر التغذية، وجميع الأحمال الموصولة به هو الحل الوحيد، لذا فهو العنصر الأشد خطورة والأكثر حساسية بين مكونات المنظومة. لذا وجب علينا توخي الحذر الشديد قبل اتخاذ قرار بتفعيل منظومة حماية BB.

إن معظم المحطات الصغيرة والمتوسطة يكتفى في حمايتها الحماية الاحتياطية لبقية عناصر منظومة القوى للعمل كحماية BB. أما تخصيص أجهزة حماية خاصة بـ BB فلا يتم ذلك سوى في محطات الأنظمة الكبيرة فقط. علماً بأن عدم اكتشاف أعطال BB. لا يتسبب فقط في تدمير BB بل يمتد إلى أبعد من ذلك ليتسبب في اختراق وخسارة المحطة بالكامل لأن جميع مكونات المحطة مربوطة بشكل أو بآخر في BB.

5.2 أنواع Busbars:

يتم تقسيم أنواع BB حسب:

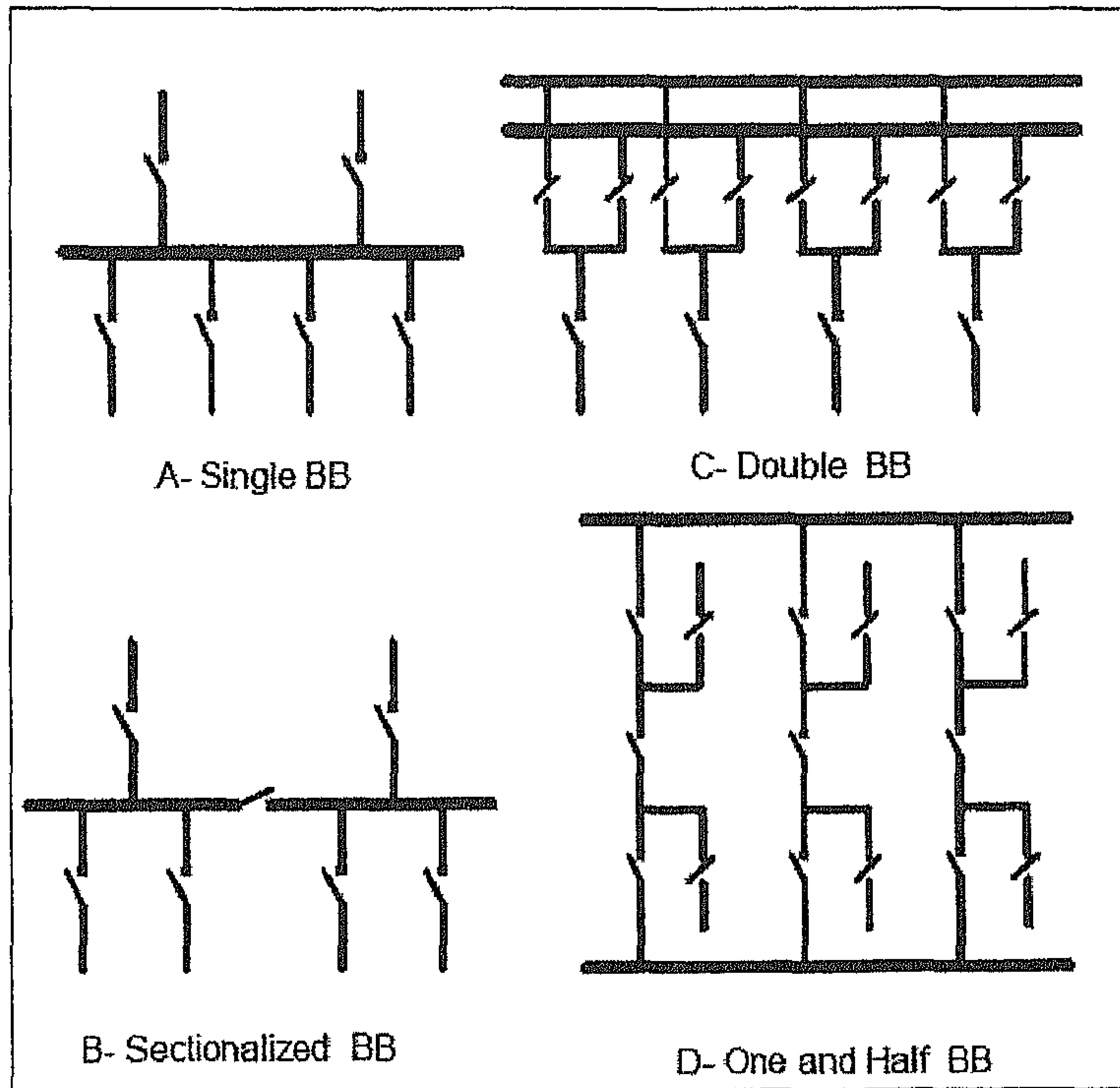
- **نوع العزل:**
  1. عزل بالهواء وبدون فواصل بين الـ Phases المختلفة.
  2. عزل بالهواء مع وجود موانع عازلة بين كل Phase وآخر.
  3. عزل بالهواء لكل Phase داخل Earthed Enclosure.

4. عـزل باسـتخدام SF6 داخـل Gas Insulated System لكـل Phase علـى حدة.

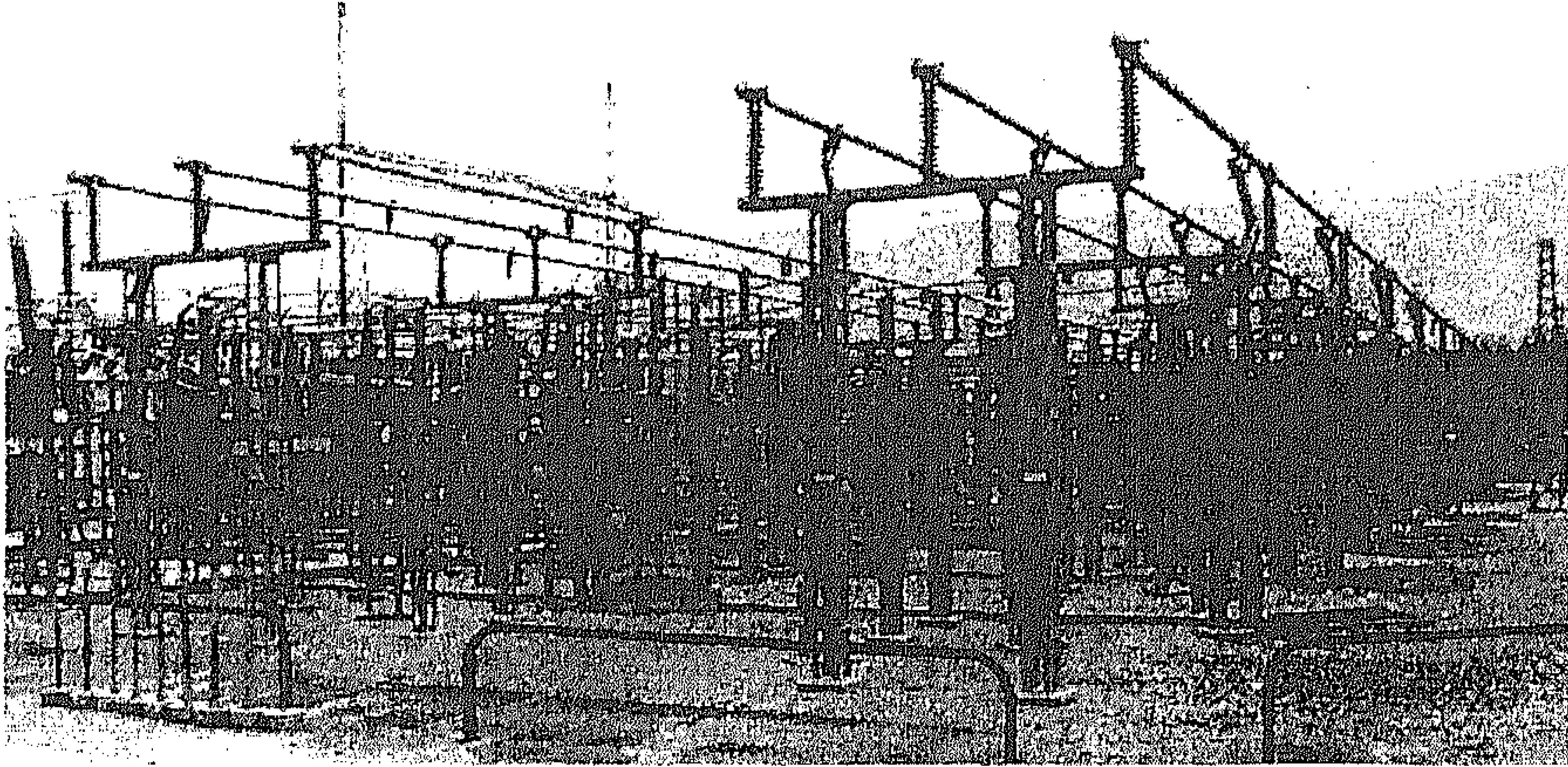
- **التصنيف حسب عدد الأجزاء:**

1. Single BB.
2. Single BB with Bus Section.
3. Double BB with Bus Coupler.
4. One & half.

وجميع الأنواع المختلفة تم توضيحها في الشكل (1– 5) أما الشكل الخارجي فهو مبين في الصورة (1– 5).



شكل (1– 5) الأنواع المختلفة BB



صورة (1– 5) إحدى أشكال BB

5.3 التصنيف حسب شكل الموصل:

حيث يتم تصنف BB طبقاً لشكل الموصل إلى الأنواع التالية:

1. النوع المسطح Flat BB وفي هذا النوع يمكننا حساب قيمة التيار الذي يتحمله الـ BB من المعادلة التالية:

$$I = 7.73\ A^{0.5}\ p^{0.39}$$

حيث: A مساحة المقطع.

P السمك.

2. النوع المفرغ وله سمك (P)، وفي هذا النوع يمكننا حساب قيمة التيار الذي يتحمله الـ BB من المعادلة التالية:

$$I = 8.63\ A^{0.5}\ p^{0.36}$$

3. النوع المصمت، وفي هذا النوع يمكننا حساب قيمة التيار الذي يتحمله الـ BB من المعادلة التالية:

$$I = 13.6\ A^{0.68}$$

وجميع النتائج السابقة تم افتراض أن الارتفاع في درجة الحرارة قد تصل لغاية $50^{o}C$ زيادة على درجة حرارة الجو التي نفترض أنها $40^{o}C$. وافتراض أن المقاومة النوعية للنحاس $1.724\ \mu\Omega.m$ عند درجة حرارة $24C^{0}$.

5.4 أسباب الأخطاء:

تتنوع أسباب الأخطاء في BB، فمن واقع المحطات يتبين أن أحد أشهر هذه الأسباب عملياً هو سقوط جسم غريب على هذه القضبان مما تسبب في حدوث قصر بينها (SC) وغالباً ما يكون ذلك في المنظومات الصغيرة نسبياً، أو يكون السبب أحياناً هو نسيان مفتاح التأريض مغلقاً بعد الانتهاء من أعمال الصيانة، أو بسبب حدوث Circuit Breaker Failure أو حدوث انهيار في محولات التيار.

ويلاحظ أن أخطاء BB تتميز بأنها من النوع الدائم وليست أخطاء عابرة، وهذا مما يضيف بعداً آخر لخطورة هذه الأعطال. ويترتب أيضاً على هذه الملاحظة أن أنظمة حماية BB يلزم أن تفصل الـ CBs ثم تجعلها في الوضع Locked بعد فصلها لأنه لا يوجد احتمال أن يكون الخطأ من النوع العابر Transient Fault.

5.4.1 خطورة S.C في BB:

إن حدوث خطأ على BB يمكن أن تتسبب في تدمير المحطة بالكامل إذا لم يتم فصله بسرعة فائقة، فكما نعلم عند مرور تيار كهربائي من خلال سلكين متجاورين تنشأ بينهما قوة مغناطيسية (F) تتناسب مع شدة التيار المار فيها، كما تتناسب عكسياً مع المسافة بينهما حسب المعادلة التالية:

$$F_{max} = 2\frac{I^2}{S} * 10^{-4}\ N.m$$

أما في حالة Three – phase System فتتوقف قيمة هذه القوة حسب Phase الذي حدث به الخطأ، ومكان الخطأ هل هو في منتصف BB أم على الطرف الخارجي؟

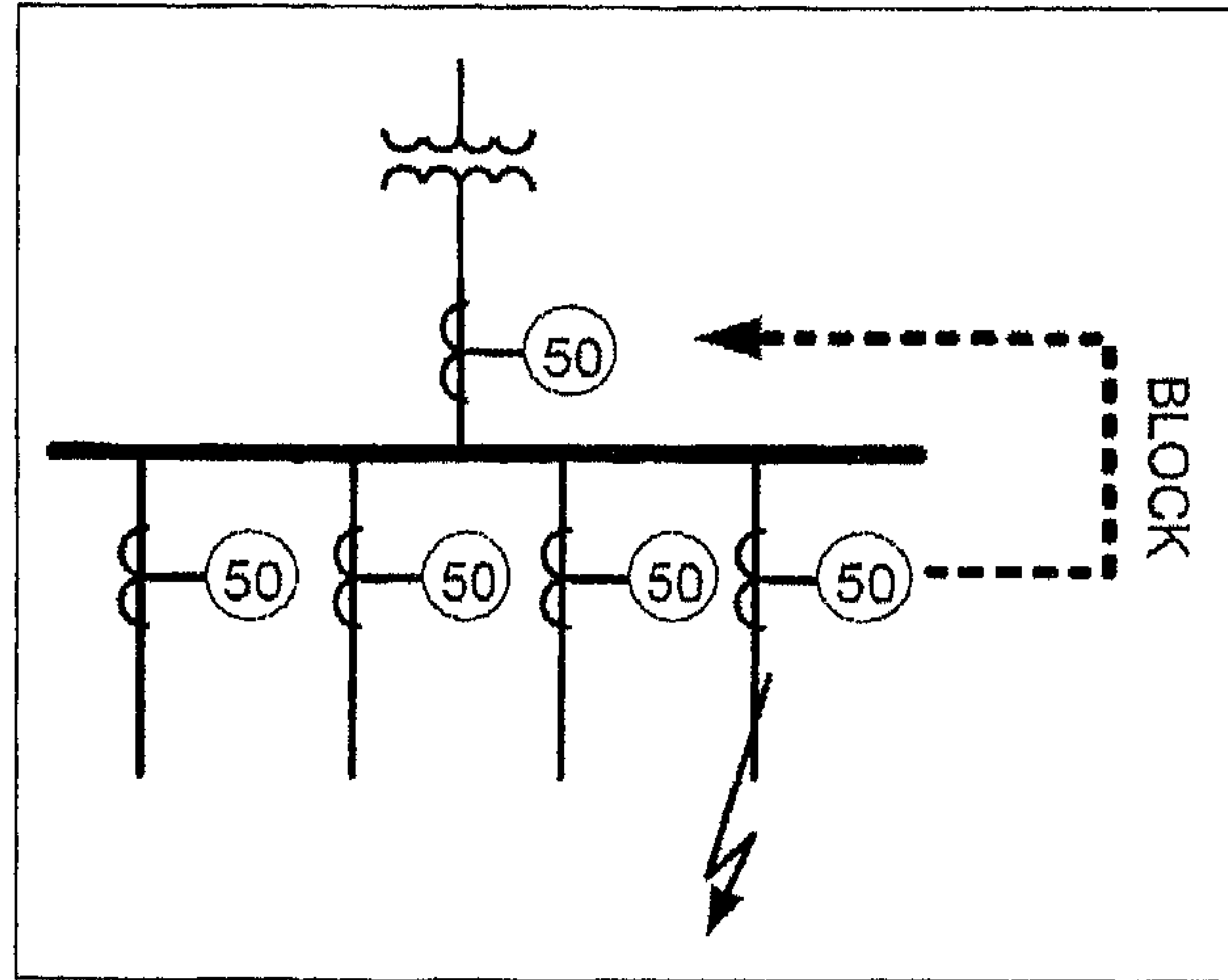
وعند حدوث الخطأ يبدأ تيار عالي جداً بالسريان، مما يؤدي إلى تضاعف القوة المغناطيسية مرات عديدة، وهذه القوة المغناطيسية من شدتها يمكن أن تتسبب في خلع BB عن مسامير التثبيت. ومثل هذه الأخطاء قد تطال العنصر البشري المتواجدين في المحطة.

5.5 طرق حماية BB:

هنالك طرق متعددة تستخدم لحماية BBs، وذلك حسب نوع BB ودرجة ت عقيد تصميمه ودرجة أهمية المحطة المستخدم بها. ولكن لجميع أصناف BB يجب استخدام حماية تتميز باعتمادية عالية جداً، High Relability وقدرة عالية على تمييز الأعطال Diserimmination والسرعة، مع التأكد من قدرتها على فصل الحد الأدنى وعدم التوسع في الفصل خشية خروج المحطة بالكامل من الخدمة.

5.5.1 الحماية باستخدام التأخير الزمني Remote Time Delay Protection:

يوجد عدة طرق مستخدمة في حماية BBs، وأبسط هذه الطرق طريقة Remote Time Delay Protection والمسماة بطريقة التأخير الزمني حيث يتم ربط OC على كل خط خارج من BB، بالإضافة إلى ربط حماية احتياطية للجميع، وهذه تعتبر رئيسية لـ BB. وهذه الطريقة موضحة في الشكل (2– 5).



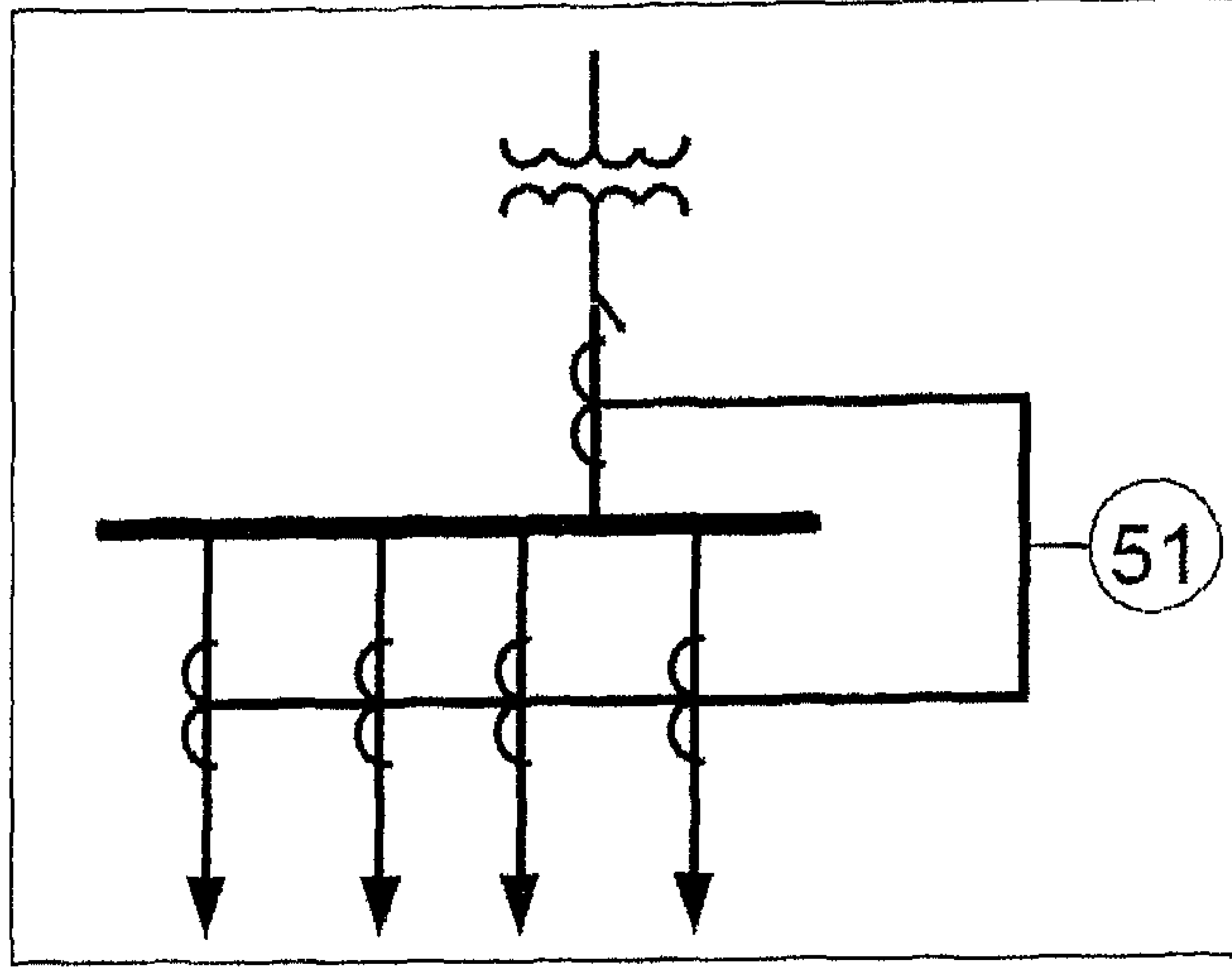
شكل (2 –5) الطريقة الأولى

وعند حدوث خطأ على أحد المغذيات الخارجة من BB فإن جهاز OC الخاص بهذا المغذي يرسل إشارة منع Block لجهاز OC الخاص به. مع مراعاة فارق زمني معقول بين أجهزة OC الخاصة بالمغذيات وبين OC المستخدم في BB.

5.5.2 الطريقة الثانية Differential Over Current:

إن جميع الطرق المستخدمة في حماية BB تعتمد على تطبيق Current law، Kclkirchoff باستثناء الطريقة الأولى التي تم إيضاحها.

ويتم استخدام Current law كفكرة مقترحة حتى يتم تغذية OC الخاص بحماية BB بتيار يساوي مقدار الفرق بين مجموع التيارات الداخلة على BB ومجموع التيارات في المغذيات المختلفة الخارجة من BB كما يوضحه الشكل (5 –3).



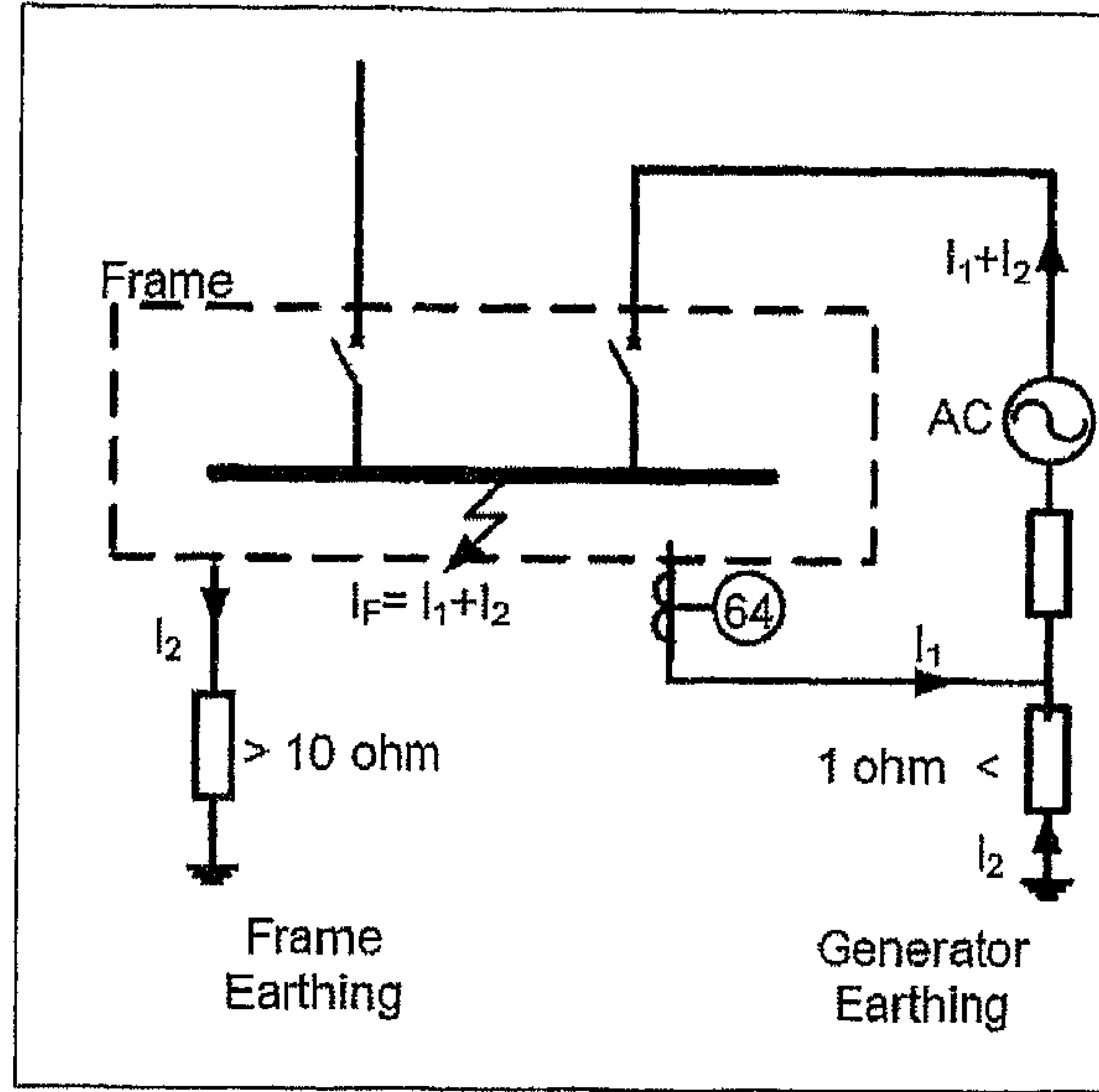
الشكل (3– 5) الطريقة الثانية

وبالطبع وطبقاً لـ KCL فإن هذا التيار في الأحوال الطبيعية سيساوي صفراً. ولن تكون له قيمة إلا إذا خطأ على الـ BB فعندها سيختلف مجموع التيارات الداخلة عن التيارات الخارجة. ومن هنا جاءت تسمية هذه الطريقة بطريقة Differential Overcurrent.

لكن بالطبع يعيب هذه الطريقة أن احتمال حدوث Saturation في محول التيار الرئيسي هو احتمال كبير، مما يعني أنه قد يتسبب في تشغيل خاطئ لحماية BB.

5.5.3 الطريقة الثالثة Fram leadage Protection:

وتعتبر هذه الطريقة بسيطة واقتصادية، حيث تعتمد في فكرة عملها على الاستفادة من BB موجودة داخل Swetchgeeur frame، وعند حدوث أي خطأ أرضي على BB فإن التيار سوف يتسرب من خلال frame إلى الأرض، وبالتالي لو تم وضع جهاز حماية (64) Earth Fault Relay فإنه يتم اكتشاف الخطأ بسهولة كما هو مبين في الشكل(4– 5):



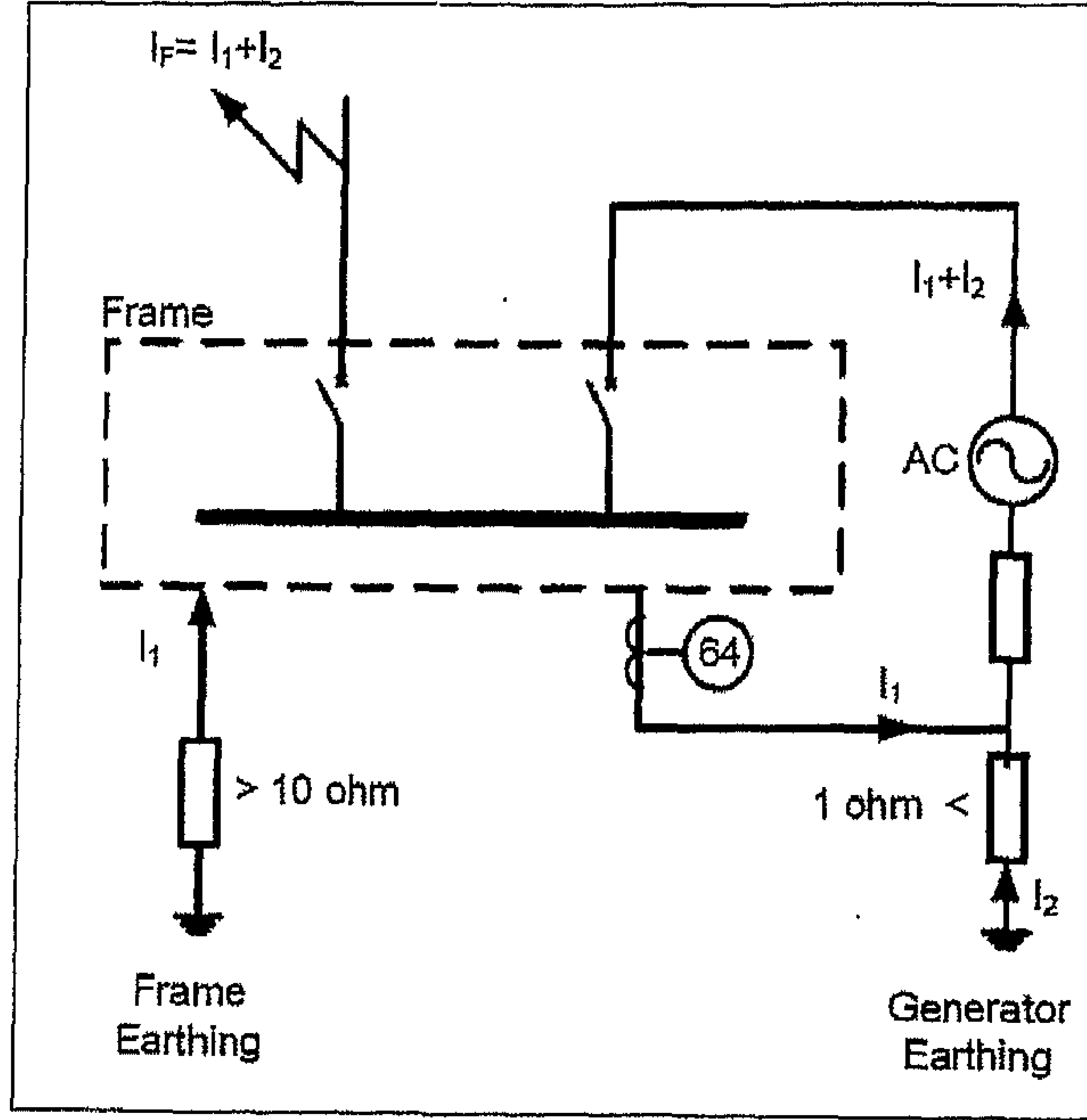
الشكل (4- 5) اكتشاف الخطأ الداخلي بالطريقة الثالثة

يعيب هذه الطريقة أنها لا تميز بين الأعطال على الـ Sections المختلفة للـ BB إذا كانت هذه الـ Section موجودة داخل Frame واحد يجمعهم. ويجب في هذه الطريقة مراعاة ألا يحدث تماس بين مسامير ربط الـ Frame مع حديد تسليح القاعدة الخرسانية التي سيوضع عليها وإلا فسترتفع قيمة التيار المتسرب في الظروف الطبيعية.

وأخيراً فهذه الطريقة لا تصلح سوى لاكتشاف الأعطال الأرضية فقط أما الـ Phase Faults فلا يمكنها اكتشافها.

لاحظ أنه في حالة الأعطال على الـ BB المتصل بمولد له Earthing Resistance متصلة بموصل الأرضي كما في الشكل (5- 5) فإن تيار العطل المتسرب من خلال جسم الـ Switchgear Frame سيتفرع إلى جزئين متجهين إلى الأرض وبالطبع يكون الجزء الأكبر منهما هو I_1 بسبب صغر مقاومة الأرضي للمولد مقارنة بمقاومة الأرضي للـ Swetchgear Frame. ومن ثم يشعر به الـEF رقم 64.

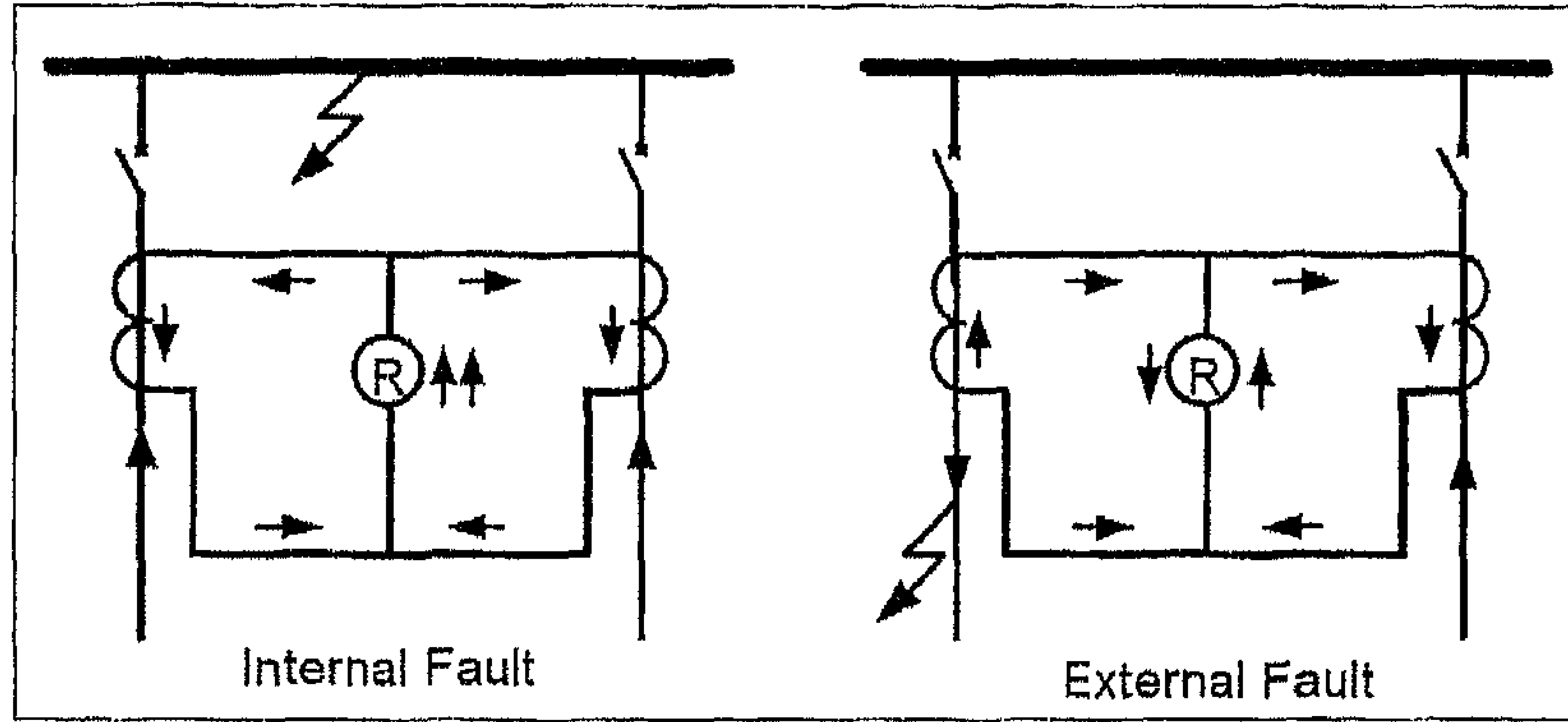
أما إذا حدث خطأ خارجي كما هو موضح في الشكل (5– 5) فإن سيحدث انخفاض قيمة التيار I_1 عن الحالة السابقة، حيث I_1 في هذه الحالة هو الجزء المار من خلال مقاومة Switchgear Frame، ومن ثم من خلال Relay أي أنه الجزء الأصغر وبالتالي لن يشعر به جهاز الحماية.



شكل (5– 5) اكتشاف الخطأ الخارجي بالطريقة الثالثة

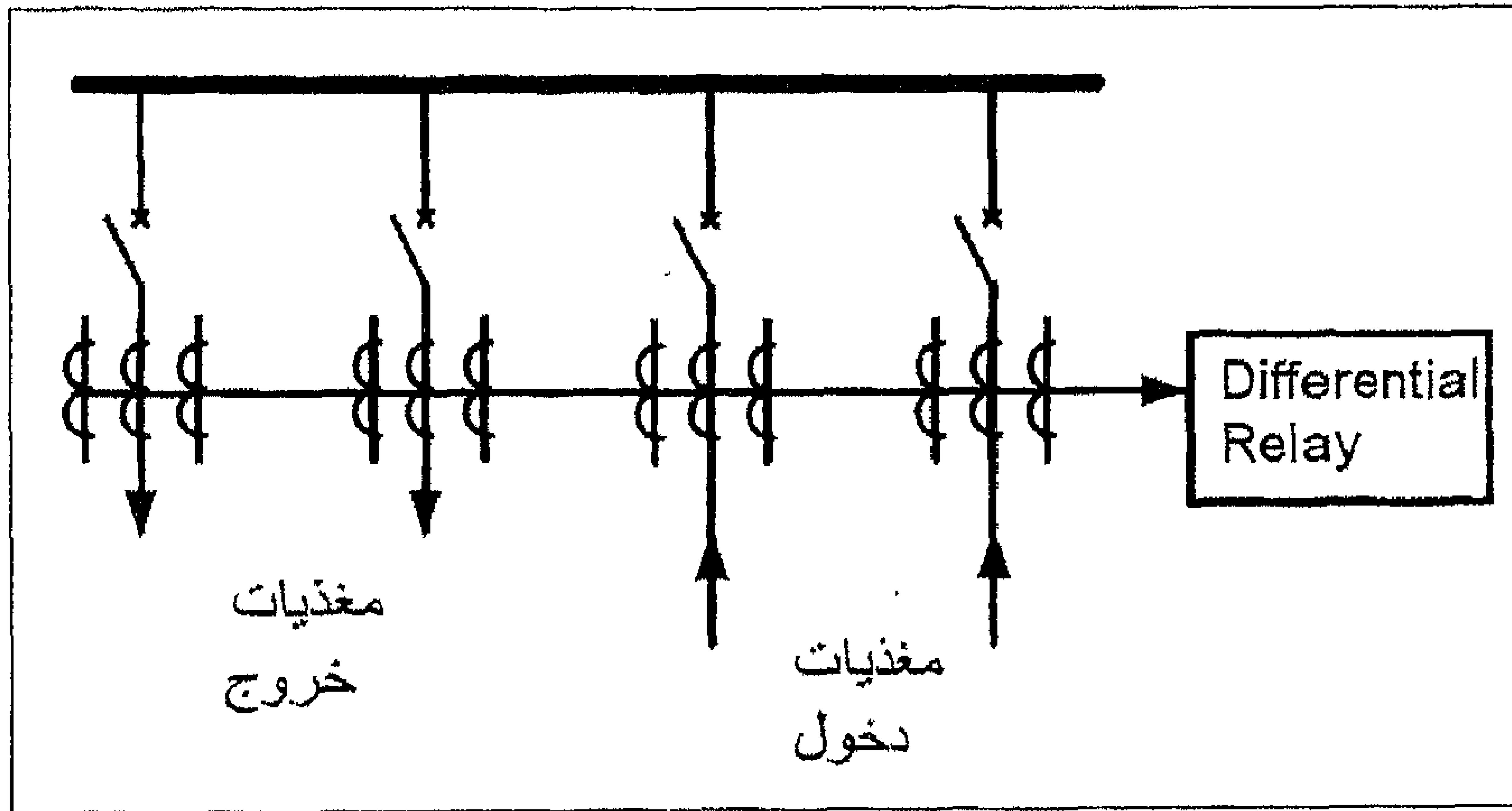
5.5.4 الحماية باستخدام Differential Protection:

بالرغم من أهمية جميع الطرق السابق ذكرها في حماية BB إلا أن Differential Protection هو الأكثر انتشاراً في مجال حماية BB. فإذا قمنا باستخدام جهاز الحماية التفاضلية المسمى Merz–Price، فإنه في حالة الأعطال الخارجية اتجاه التيار سيتوزع بين داخل وخارج كما هو موضح في الشكل (6– 5) يمين. وبالتالي يصبح Differential Current داخل الجهاز يساوي صفراً. أما في حالة الأخطاء على BB نفسه فسيكون جميع التيارات في اتجاه واحد فقط (الداخل)، وبالتالي ترتفع قيمة تيار Relay كما هو مبين في الشكل (6– 5) يسار.



الشكل (6– 5) الحماية التفاضلية في حالتي الأخطاء الداخلية والخارجية

ويمكن ملاحظة أنه يمكننا استخدام جهاز Differential Relay واحد تتجمع فيه كافة تيارات الخطوط من كافة Phases، كما هو موضح في الشكل، ولكن يعيب هذه الطريقة أنها تستطيع اكتشاف الأخطاء الأرضية فقط والشكل (7– 5) يوضح هذه الطريقة.



الشكل (7– 5) استخدام DR واحد لجميع Phases

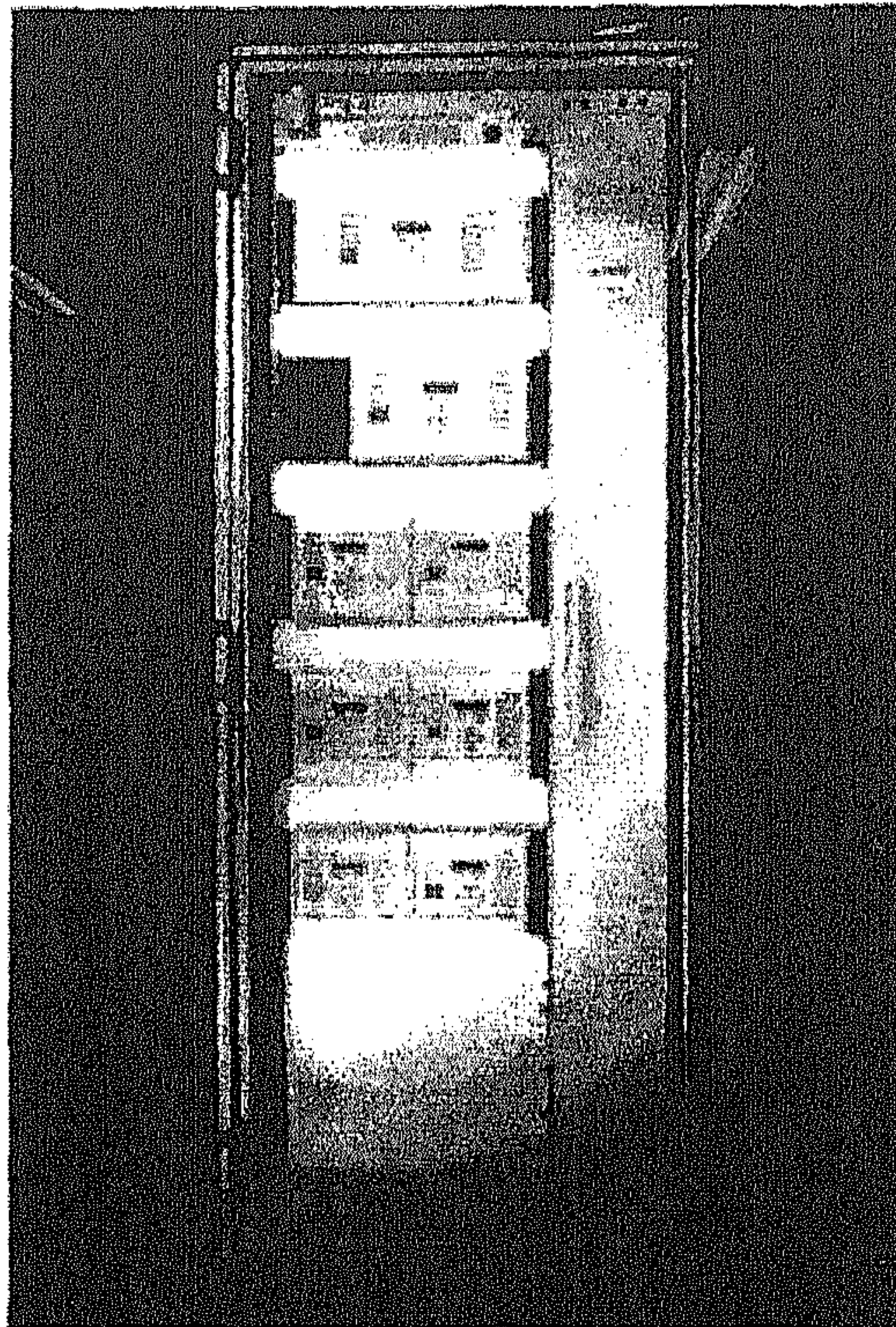
أما إذا أردنا اكتشاف جميع أنواع الأخطاء Phase and Earth Faults فلا بد من استخدام Differential Relay لكل Phase على حدة.

5.5.5 الحماية باستخدام High Impedance Differential Relay:

تقوم الفكرة الرئيسية في هذه الطريقة على طريقة الحماية السابقة، ولكن عند استخدام الطريقة السابقة سوف تظهر لنا بعض المشاكل العملية، ومن أبرز هذه المشاكل تشبع Saturation في أحد محولات CTs بسبب خارجي ليس على BB نفسه، فتتغير قيمة Differential Current داخل Relay مما يتسبب في خداع Relay الذي سوف يعتبر هذا التغير داخلي.

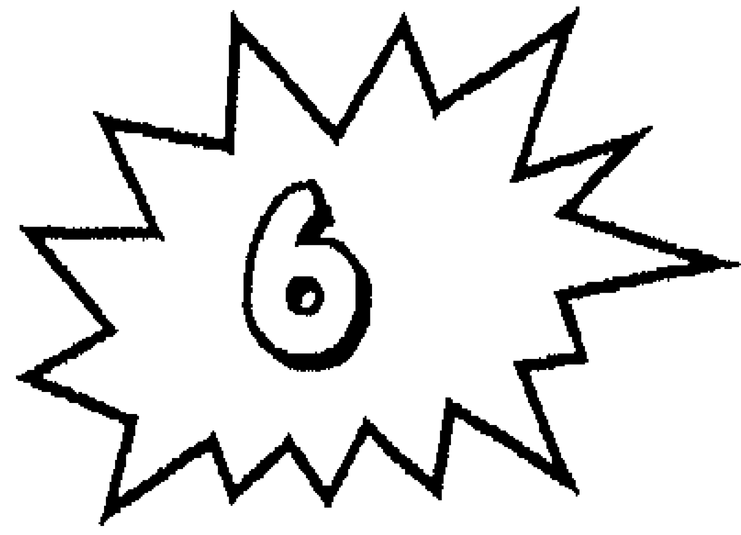
ولعلاج هذه المشكلة فقد تم إجراء تعديل على Differential Relay التقليدي بإضافة مقاومة عالية على التوالي.

والصورة (2– 5) تبين الـ Relay المستخدم في وقاية BB.



صورة (2– 5) Relay حماية BB

الفصل السادس



حماية قضبان التوزيع

الفصل السادس

حماية المحركات الكهربائية

Electrical Motor Protection

6.1 المقدمة:

إن الحماية المستخدمة للمحركات الكهربائية تعتمد على عدة عوامل من أهمها قدرة المحرك وطبيعة الحمل الميكانيكي. ولكي نستطيع الحماية المناسبة لا بد لنا من دراسة كيفية بدء الحركة للمحرك.

إذا قمنا بإمعان النظر في منحنى بدء الحركة للمحرك أكثر، والذي يعتبر أحد أكثر أصناف المحركات شيوعاً، نجد بأن تيار البدء كبير جداً لدرجة أنه قد يصل إلى 8 أضعاف تيار التشغيل. وهذا التيار Starting current يبقى مرتفعاً إلى أن تصل سرعة المحرك إلى 80٪ من سرعته التزامنية، حينها سوف يبدأ Starting Current بالانخفاض إلى أن يصل لقيمة التيار المقنن عند السرعة العادية وذلك لأن قيمة الانزلاق Slip تقل شيئاً فشيئاً.

6.2 الأخطاء المحتملة في المحركات Possible Motor Faults:

إن الأخطاء الشائعة الحدوث في المحركات الكهربائية تتلخص فيما يلي:

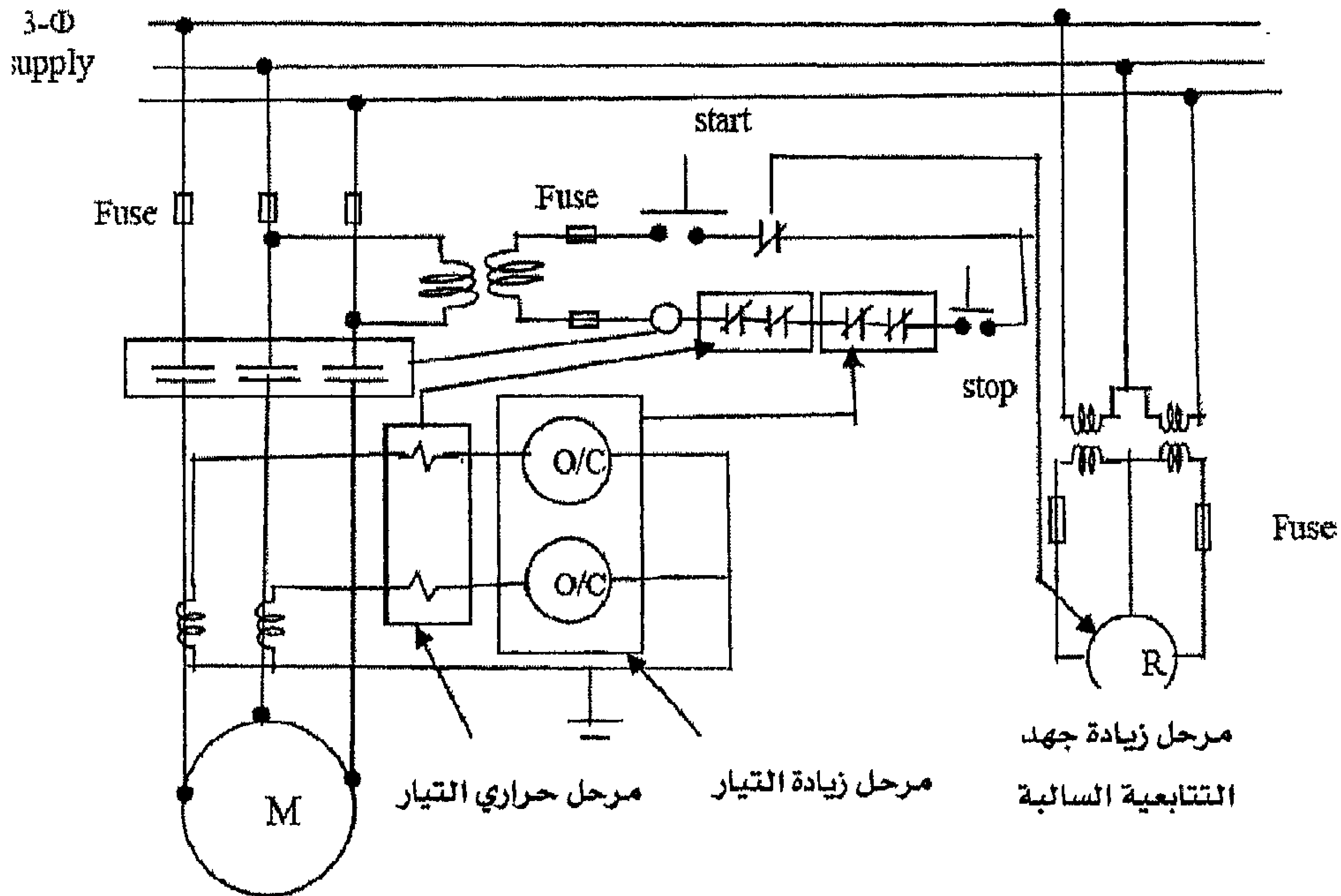
1. هبوط جهد التغذية Under Voltage.
2. عدم توازن في جهد خطوط التغذية Unbalanced Power Supply.
3. نقص في التيار Under Current
4. زيادة في الحمل مما يؤدي إلى زيادة في التيار وينجم عن ذلك ارتفاع زائد في حرارة ملفات المحرك.
5. انهيار عزل الملفات مما ينجم عنه قصر بين Phase to Phase أو Earth faults.

6. عدم حرية حركة العضو الدوار Locked roter.

6.3 حماية المحركات متوسطة القدرة من التيار الزائد:

Protection motors (250 HP – 1000 HP) from Over Current

إن الشكل (1 –6) يوضح الحماية الأساسية لمحرك كهربائي ذو قدرة تصل لغاية 1000hP، حيث أن المحركات الكهربائية من تلك القدرات تعمل عند جهد قد يصل إلى 600 volt، بينما تعمل المحركات الكبيرة عند جهود عالية تصل في بعض الأحيان إلى 13.8 KV.

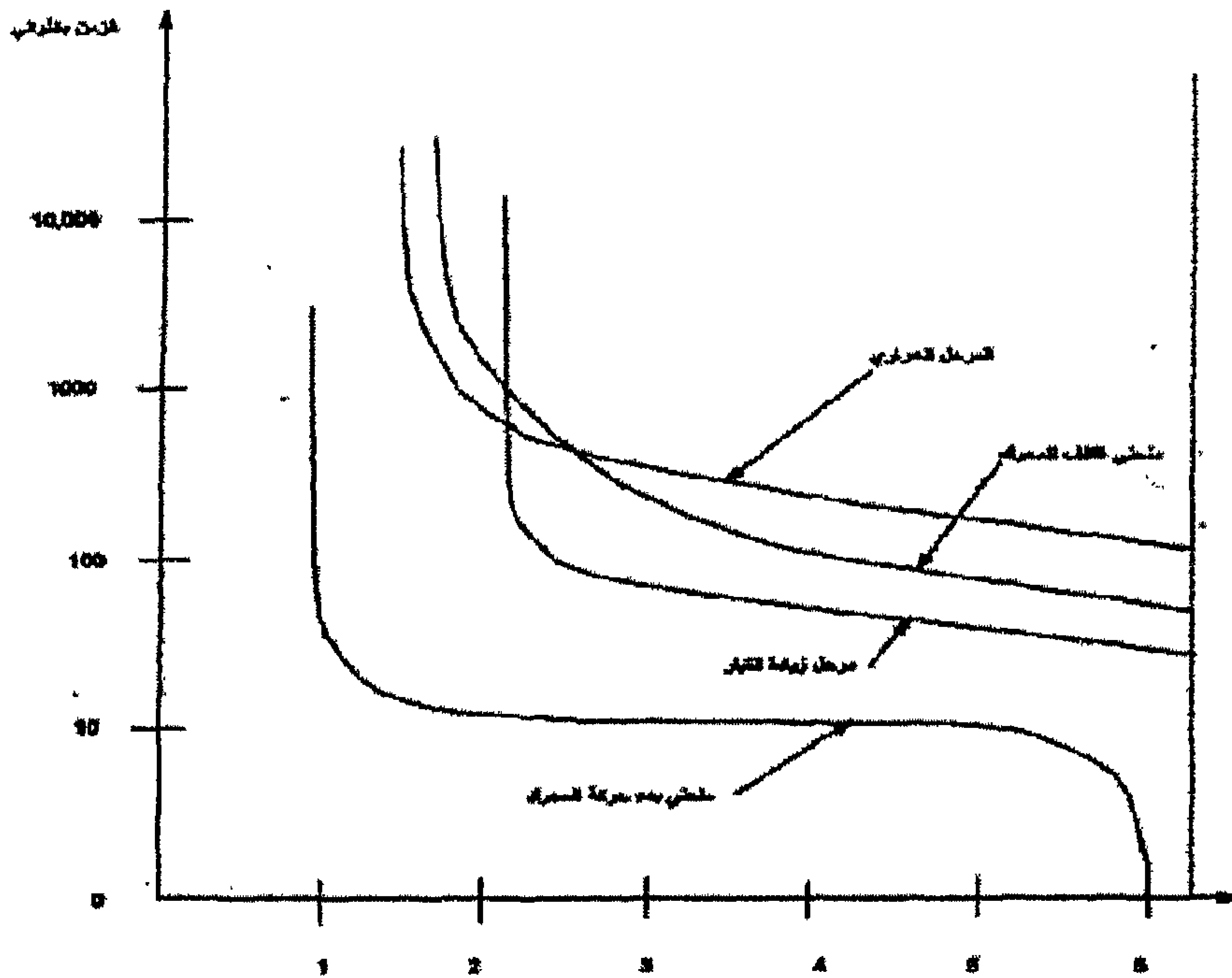


الشكل (1 –6) الحماية الأساسية لمحرك كهربائي لغاية 1000 HP

6.4 كيفية اختيار Overload Relays:

عند دراسة الشكل (1 –6) نجد بأن الـ Thermal Relay يستخدم للحماية من OC، وعند Overload أيضاً.

حيث أن هذا الـ Relay يتكون من عنصر تسخين Heating element يتم من خلاله تشغيل مفتاح (ثنائي المعدن). حيث يتم اختيار الـ Thermal Relay بحيث يتناسب منحنى خصائص الـ Relay مع منحنى التلف للمحرك نفسه كما هو مبين في الشكل (2– 6)، ولا بد لنا من معرفة أنه يتم ضبط المرجل عادةً للبدء في العمل عند تيار يساوي 105٪ من مقدار التيار المقنن للمحرك.



الشكل (2– 6) منحنى خصائص OC Relay, Thermal Relay

ومن خلال الشكل (2– 6) يمكننا أن نرى أنه يتم السماح بمرور ضعف التيار المقنن في ملفات المحرك لمدة أقصاها 1000 second، أي 17 min تقريباً.

بينما يمكن للمحرك تحمل Startng Current يبلغ ست أضعاف التيار المقنن لمدة لا تتجاوز 15 ثانية فقط.

وعموماً لا بد من الأخذ بعين الاعتبار بأنه لا يمكن الحصول عملياً على تطابق كلي بين منحنى خصائص الـ Relays ومنحنى التلف للمحرك.

ويتم عادة ضبط OC Relay عند قيمة تيار تساوي 250٪ من التيار المقنن، ويمكننا القول بأن الـ Thermal Relay يستخدم لحماية المحرك من زيادة الترافع تيار الحمل، بينما الـ OC Relay يتم استخدامه للحماية من الزيادة الكبيرة في التيار.

أما بالنسبة لـ OV Relay التتابعية السالبة فتتلخص وظيفتها في فصل مصدر التغذية عن المحرك عندما تصل قيمة الجهد التتابعية السالبة إلى 4٪ من جهد التغذية.

وقد تم استخدام هذا النوع من الـ Relays لأن عدم التوازن ف الجهد يسبب تتابعية سالبة في الجهد والتيار إلى جانب التتابعية الموجبة. وهذا بدوره سيؤدي إلى نشوء مجال مغناطيسي في الثغرة الهوائية والذي بدوره يقوم بعكس اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن التتابعية الموجبة.

وهذا المجال المغناطيسي العكسي سيؤدي بدوره إلى إيجاد تيار إضافي في ملفات الـ Rotor عند تردد يساوي تقريباً ضعف تردد المصدر. وسينجم عن هذا التيار عزم معاكس للعزم الناتج عن التتابعية الموجبة، وبالتالي سيؤدي إلى تسخين زائد لملفات المحرك مما ينجم عنه انهيار عزل الملفات وتلف المحرك.

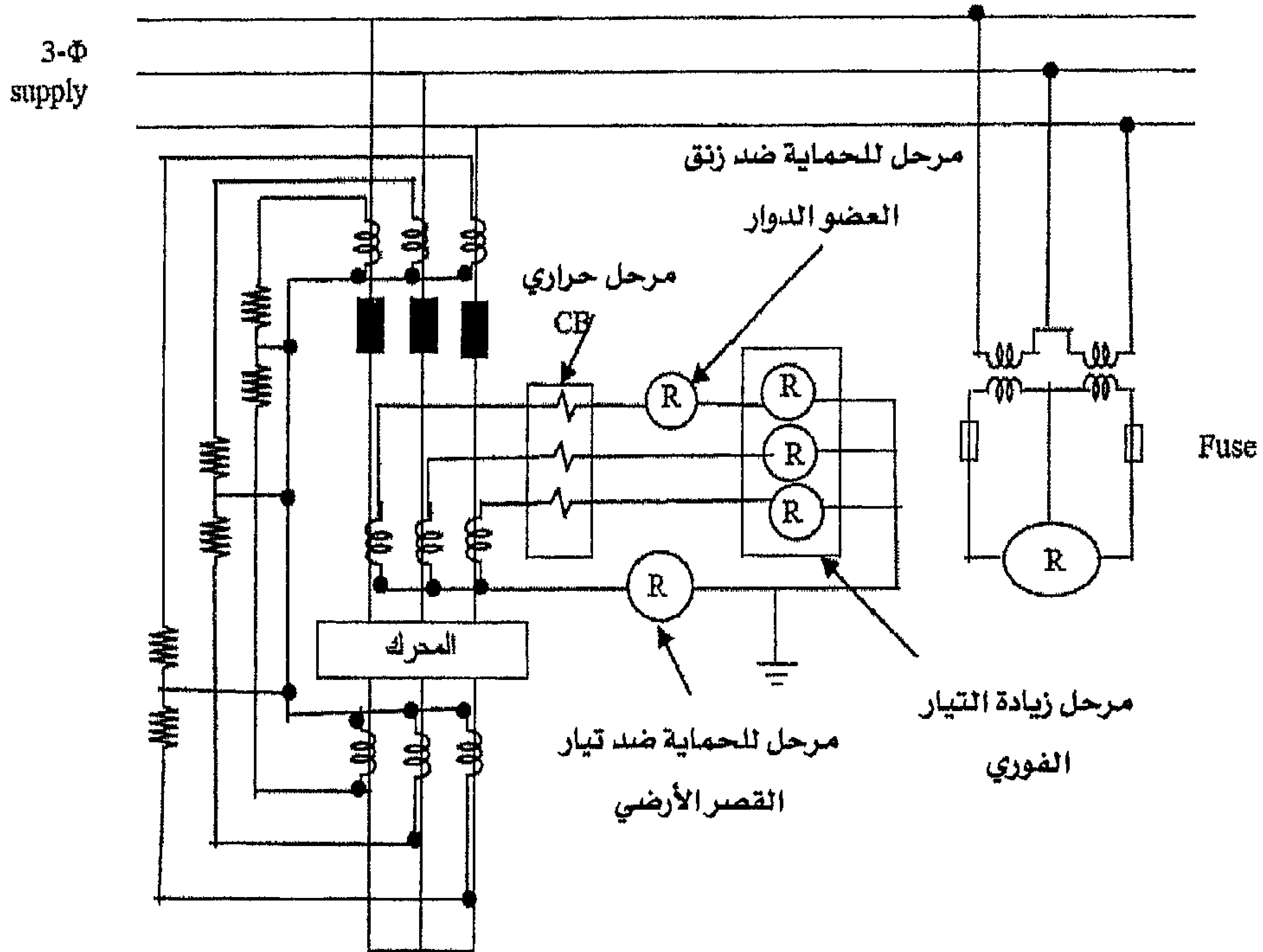
وبشكل عام فإن أكثر الأخطاء الشائعة التي ينجم عنها عدم توازن في جهد التغذية هي وجود أحمال Single Phase بكثرة في الشبكة أو تلف أحد الـ Phuses المستخدمة لحماية المحرك من تيارات القصر.

والأسباب الرئيسية وراء استخدام Phuses لحماية المحركات، هي:

1. ملامسات الـ Contactors غير قادرة على فصل تيارات S.C. العالية لذا نستخدم High rupture Capcity phuse (HRC).
2. زمن فصل phuses اقل من المدة الزمنية التي تستغرقها Thermal Relay أو OC Relay.

6.5 حماية المحركات ذات القدرات الكبيرة Large motors Protection:

إن المحركات ذات القدرة التي تفوق 1000 HP تسمى بالمحركات الكبيرة، والحماية المستخدمة لهذا الصنف من المحركات موضحة في الشكل (3– 6).



الشكل (3– 6) الحماية الأساسية لمحرك كبير القدرة

حيث نلاحظ من الشكل (3- 6) ما يلي:

1. يتم استخدام Earth Fault Relay لحماية المحرك من تيار قصر بين أحد الأطوار والأرض.
2. عوضاً عن استخدام Phuses لحماية المحركات متوسطة الحجم تم استخدام Circuit breakers وInstantaneus OC Relays للحماية من تيارات القصر العالية.
3. يتم استخدام أيضاً Differntial Relays لحماية المحرك من تيارات القصر البسيطة.

6.6 الحماية من زيادة أو انخفاض الجهد:

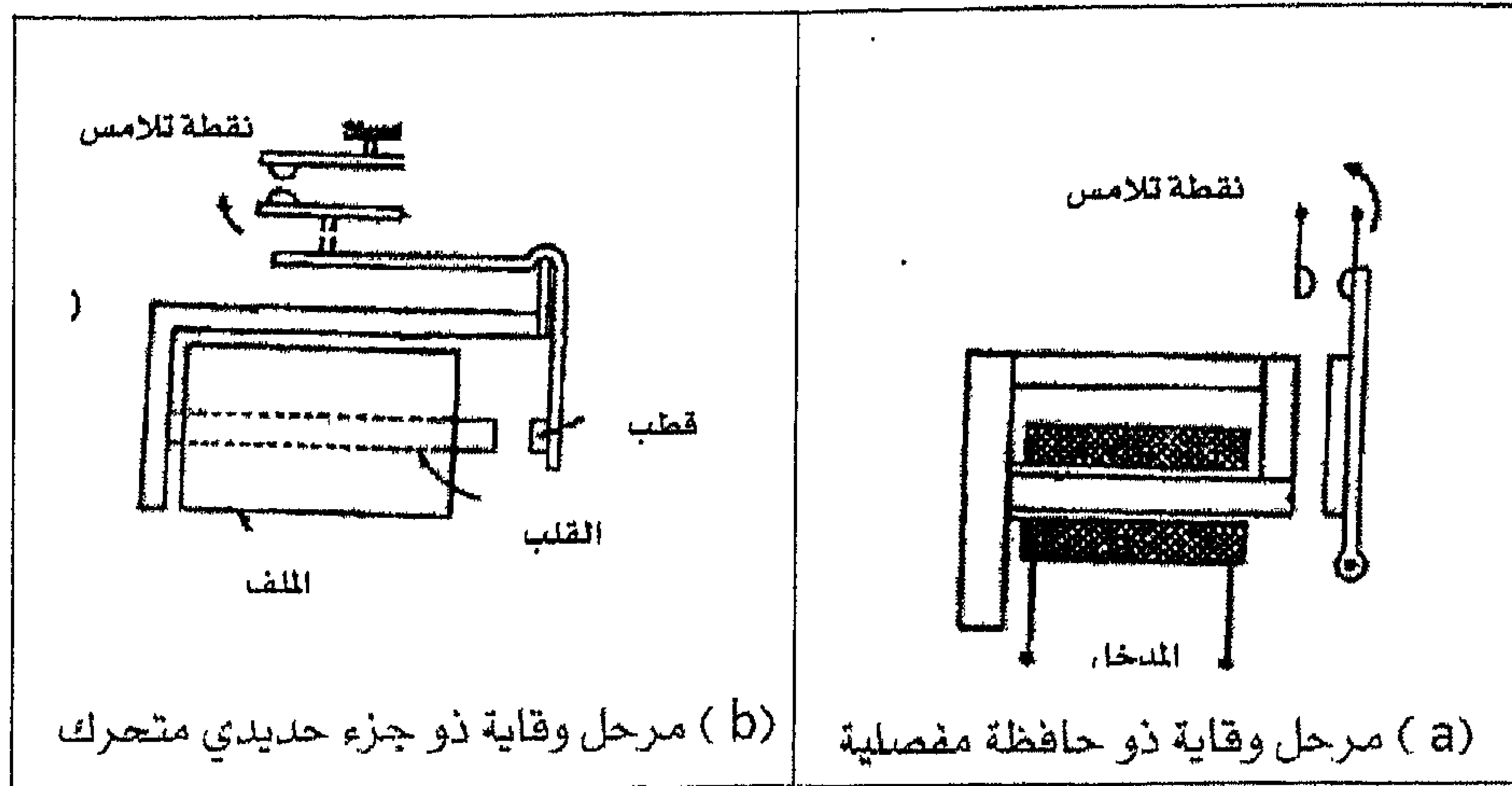
Over – Voltage and under – Voltage protection

إن OV Relays يتم ربطها بملفات الثانوي لـ VT. حيث تعمل ملفات Relay بجهد مقنن مقداره 110 – 220 Volt. وفي مرحلات الحماية الاستاتيكية يتم إضافة محول جهد مساعد يقوم بتخفيض الجهد المقنن إلى قيم مناسبة لتغذية الدوائر الالكترونية. ويتم استخدام أنواع عدة من المرحلات للحماية من زيادة أو انخفاض الجهد، نذكر منها:

أ. مرحلات حماية من زيادة أو انخفاض الجهد الكهرومغناطيسية:

ومن هذا الصنف نذكر منها:

1. مرحل حماية ذو حافظة مفصلية، كما هو مبين في الشكل (6 –4 a).
2. مرحل حماية ذو ذراع حديدي متحرك، وهو مبين في الشكل (6 –4 b).



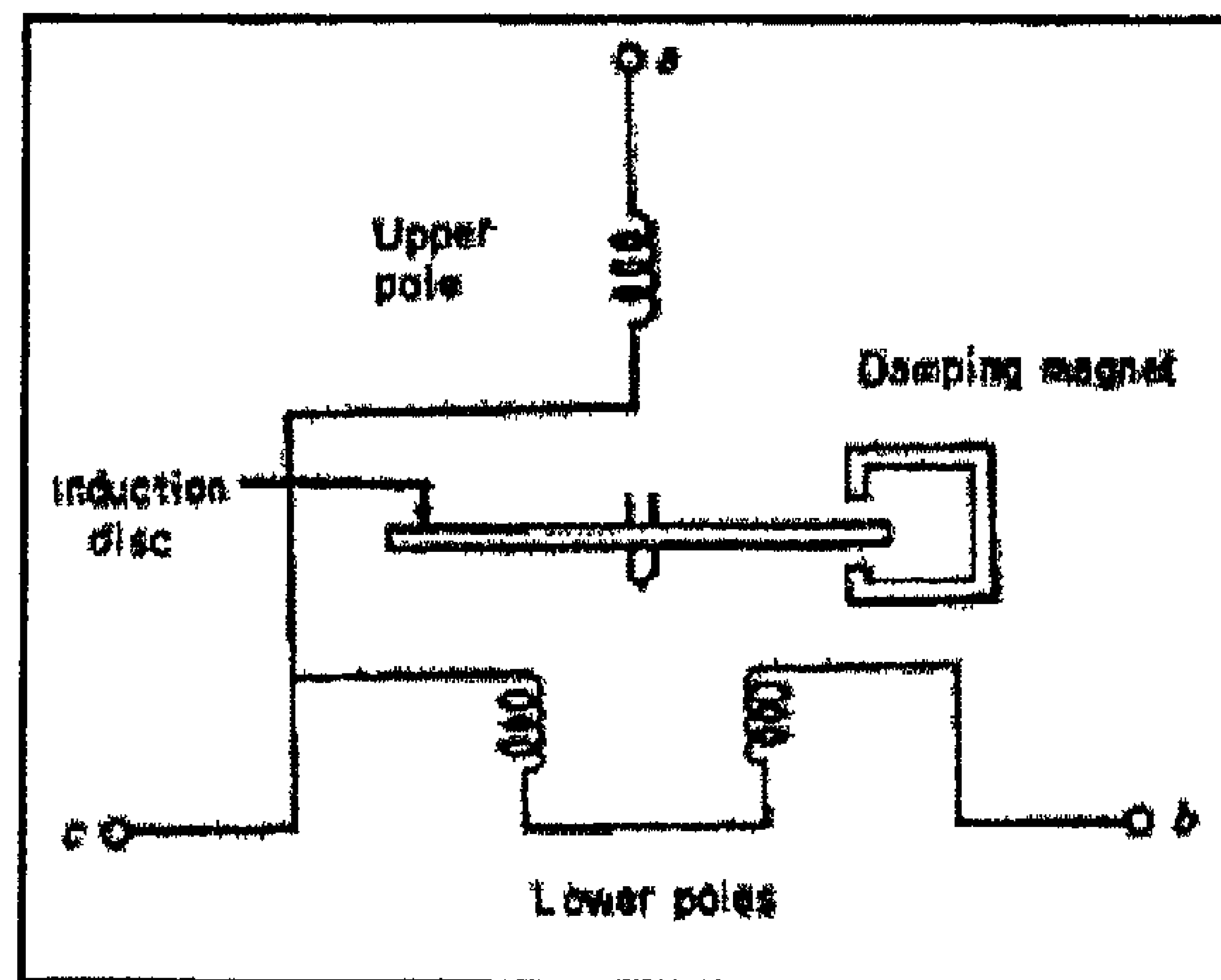
(b) مرحل وقاية ذو جزء حديدي متحرك

(a) مرحل وقاية ذو حافظة مفصلية

الشكل (4– 6) مرحلات زيادة أو خفض الجهد

6.7 الحماية من انعكاس أحد الأطوار:

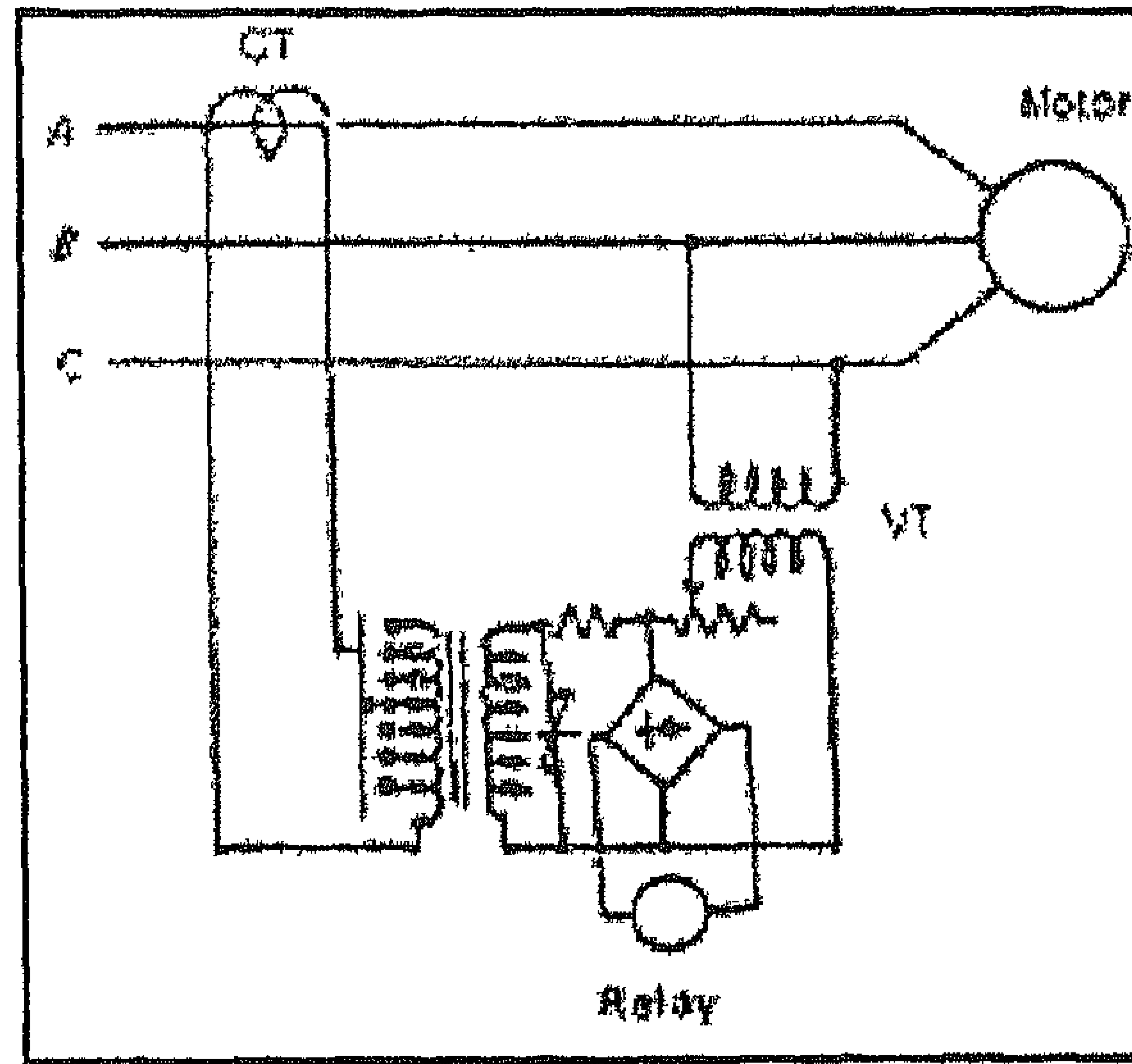
إن اتجاه دوران المحرك كما نعيم جيداً تتغير عند تغير تتابع Phases وفي بعض التطبيقات لا يسمح بانعكاس دوران الحركة في المحرك، لذا تعتبر هذه الخاصية مهمة جداً ويجب حمايتها. ويوجد أنواع متعددة من المرحلات التي تستخدم في حماية المحرك من انعكاس الأطوار، والشكل (5– 6) يبين OV Relay ثلاثي الأطوار المستخدم من انعكاس اتجاه حركة المحرك.



الشكل (5– 6) المرحل المستخدم للحماية من انعكاس او فتح احد الاطوار

6.8 الحماية من فقدان التزامن:

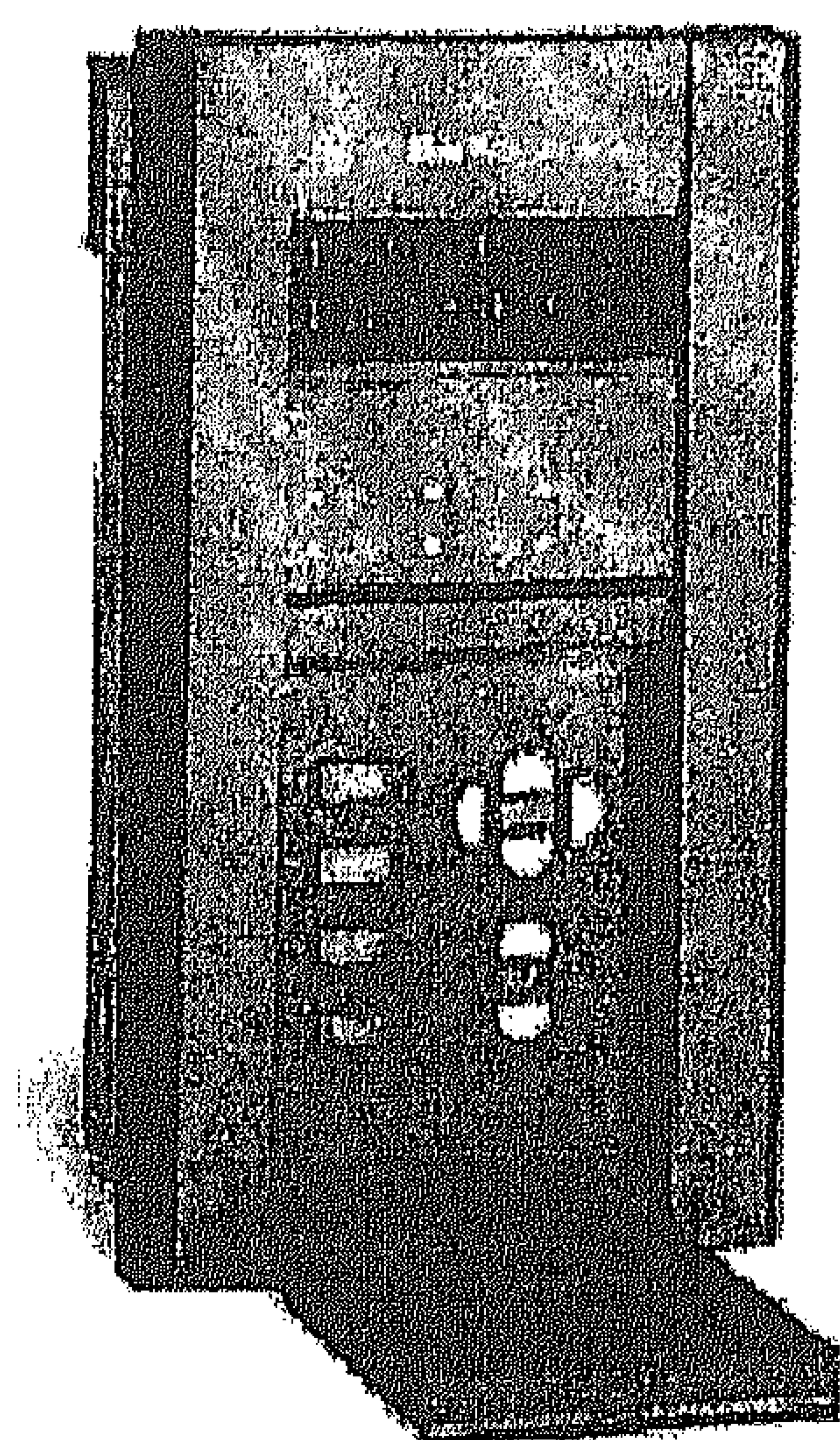
عند تحميل المحرك بشكل يفوق قدرته أو في حال حدوث هبوط الجهد من الممكن خروجها من التزامن نتيجةً لذلك. وفي مثل هذه الحالات يمكن حمايتها من خلال استخدام مرحل يستجيب إلى التغير في معامل القدرة، ويتم ربطه كما هو مبين في الشكل (6– 6).

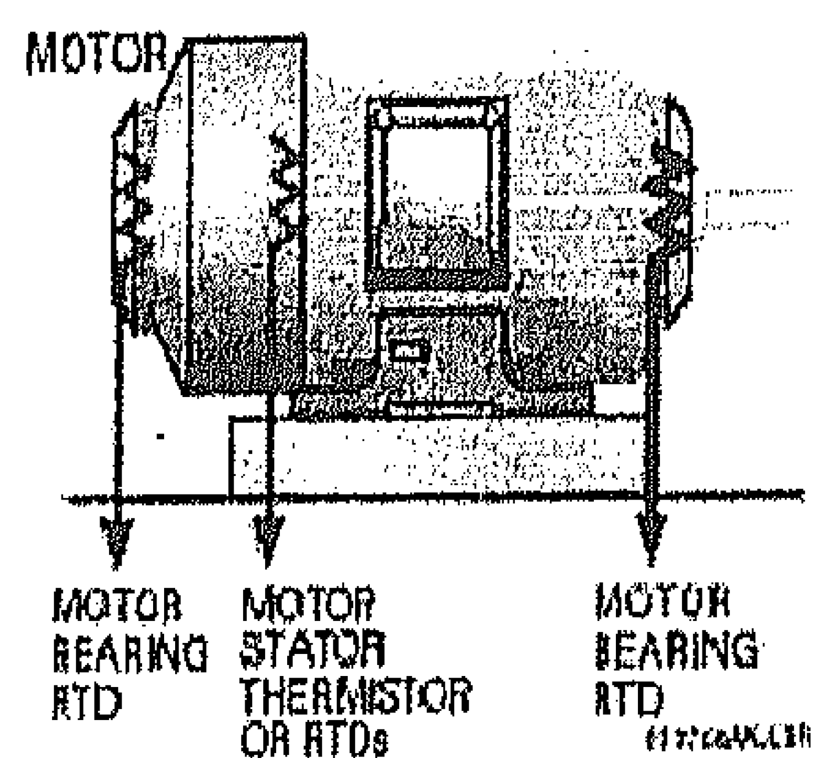


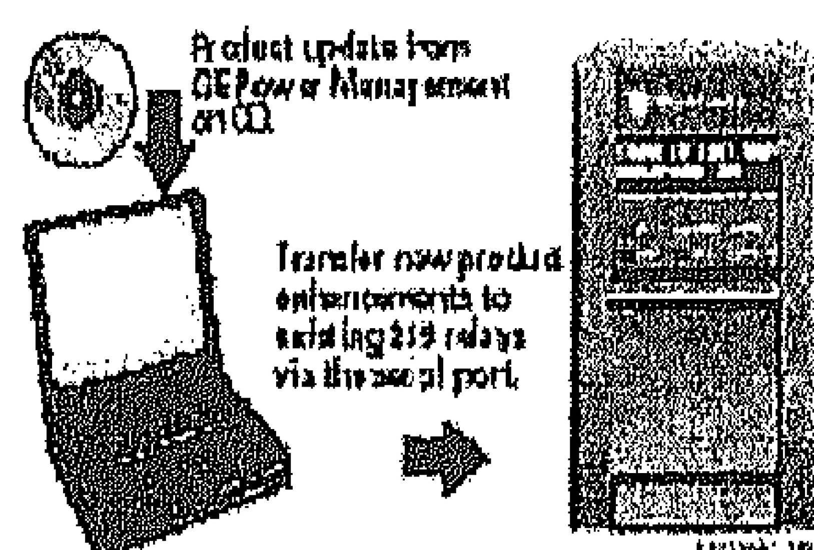
الشكل (6– 6) مرحل الحماية من عدم التزامن

6.9 الحماية الكلية الرقمية للمحرك:

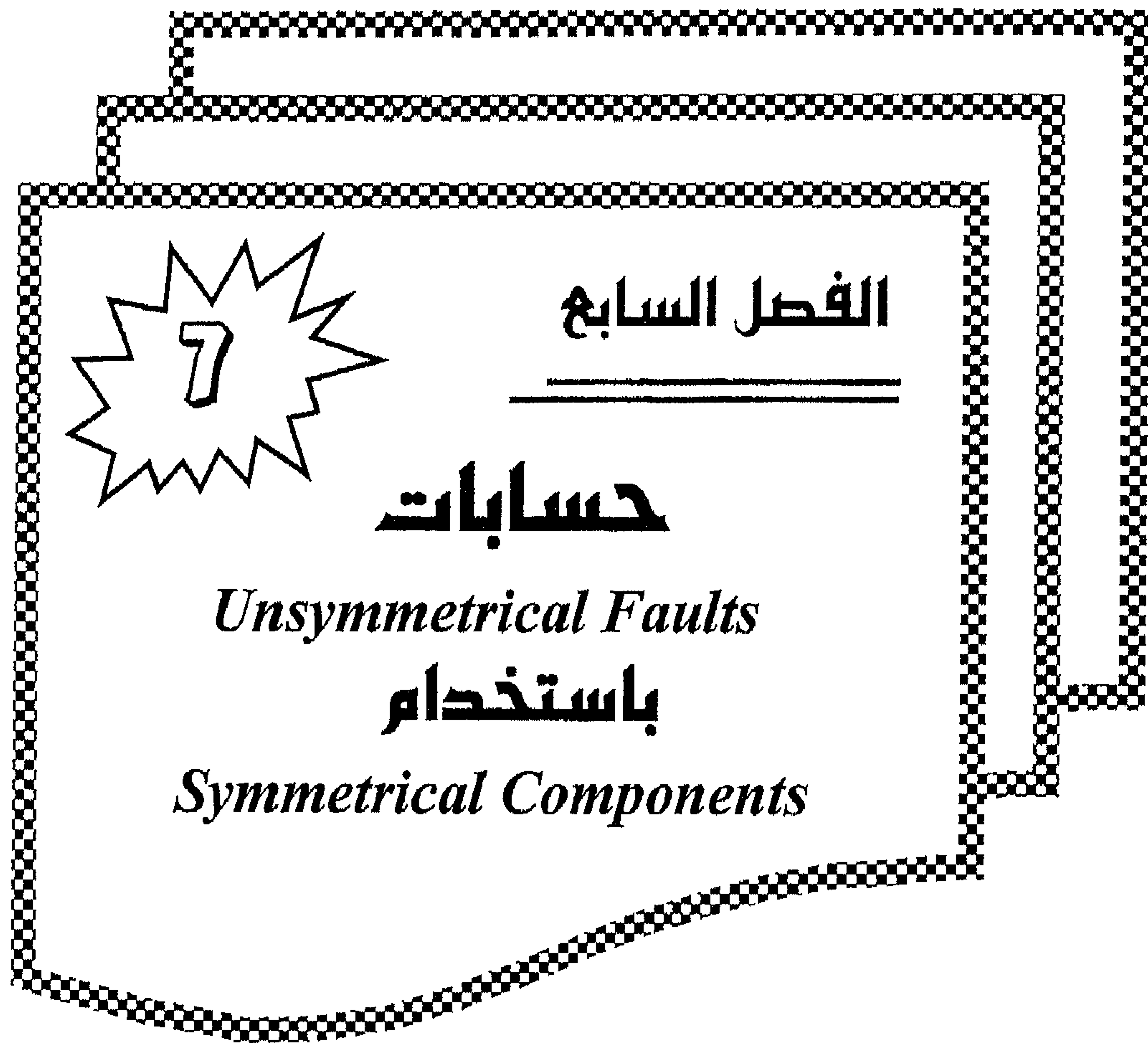
الصورة (1– 6) تمثل إحدى الحمايات الرقمية Idigital Protection الحديثة المستخدمة للمحرك وكيفية توصيله وضبطه باستخدام الكمبيوتر.



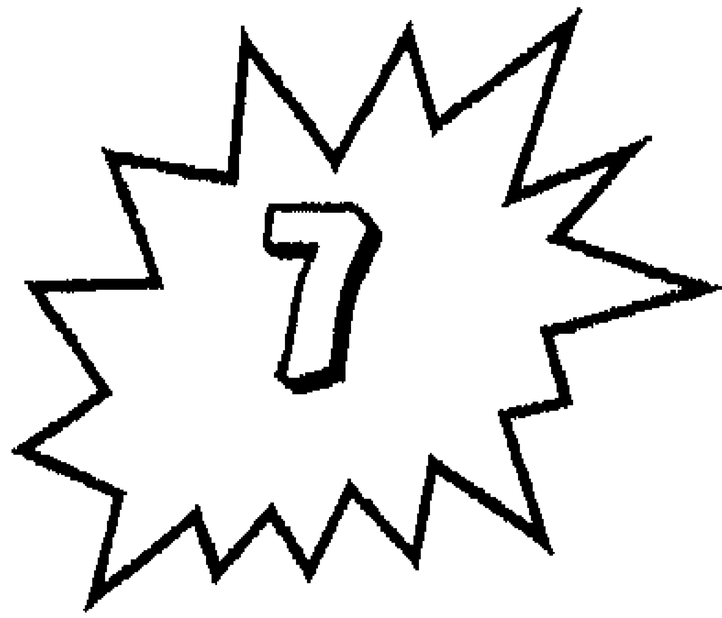




الصورة (1– 6) الحماية الرقمية الحديثة



الفصل السابع
حسابات
Unsymmetrical Faults
باستخدام
Symmetrical Components



7

الفصل السابع

حسابات
Unsymmetrical Faults
باستخدام Symmetrical Components

7.1 المقدمة:

لكي يستطيع مهندس الحماية من فهم وتحليل الظواهر التي تنشأ بسبب الأخطاء لا بد له من معرفة وفهم بعض المواضيع المتعلقة بأنظمة الحماية وأجهزتها، ومن أبرز هذه المواضيع موضوع Symmetrical Components، حيث تكمن أهمية هذا الموضوع في كونه الطريق الوحيد لفهم توزيعات التيار على Phases الثلاثة في حالة الأعطال الغير متماثلة Unsymmetrical Faults، فعند حدوث خطأ على سبيل المثال 1–L– G على Phase A يبدأ مهندس الحماية بالتساؤل: هل مثل هذا الخطأ سوف تتأثر به بقية Phases رغم أنها غير مشاركة في الخطأ؟ وكم نسبة مشاركتهم؟ وما مدى تأثير المحول أو طريقة ربط المحول بذلك؟ إن جميع هذه الأسئلة تتوجب على مهندس الحماية من معرفة إجاباتها إلا من خلال فهم موضوع Symmetrical Components.

وما يجب علينا معرفته هو أن جميع تلك الحسابات يتم إجراؤها من خلال برامج محوسبة خاصة لإيجاد نتائج هذه الحسابات، ولكن هذا لا يغني عن فهم معاني نتائج هذه الحسابات لكي نستطيع استخدامها وفهمها بالشكل المناسب.

7.2 أساسيات Symmetrical Compnents:

إن فكرة استخدام هذه الطريقة مبنية على أساس أن كل شبكة غير متماثلة Unsymmetrical هي في الواقع مكونة من ثلاث شبكات متماثلة، بحيث أن مجموع الشبكات الثلاث المتماثة ينتج نفس الشبكة الأصلية الغير متماثلة. وهم:

Positive Sequence Network

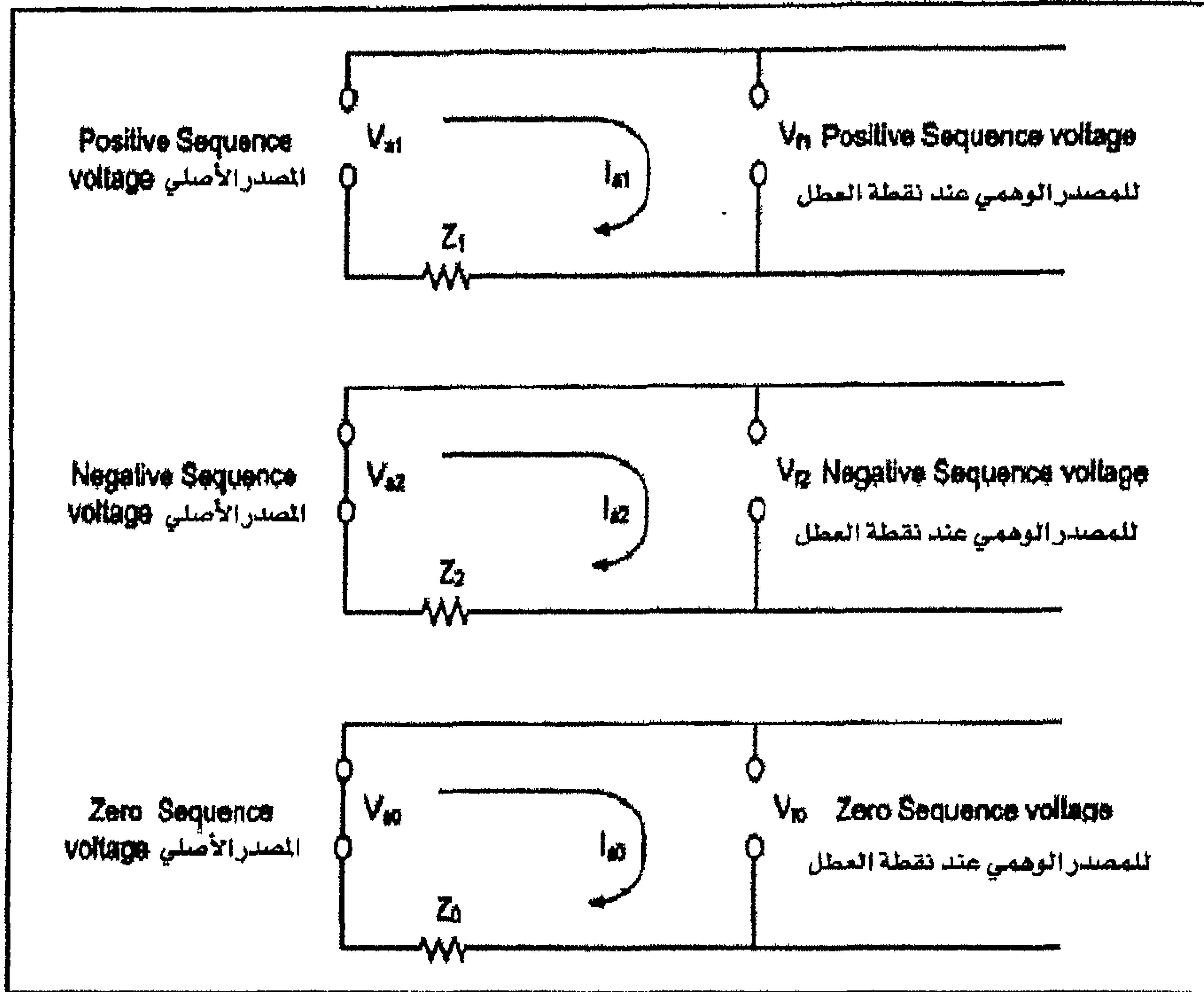
Negative Sequence Network

Zero Sequence Network

وكل شبكة من الشبكات الثلاث لها Impedances مختلفة عن الأخرى Z_1, Z_2, Z_0 على التوالي. وهي قيم مختلفة في الغالب عن الـ Impedance التي نعرفها ونقيسها.

وعند حدوث Unsymmetrical Fault عند نقطة ما في الشبكة فإن ثلاثة Sources وهمية ستظهر عند نقطة العطل يرمز لها في الشكل (1–7) بالرموز: (V_{f1}, V_{f2}, V_{f0}). وتسمى على التوالي Positive, Negative and Zero Sequence Voltages.

ويظهر كل واحد من هذ الجهود في الـ Sequence Network المناظرة. كما ينشأ عن وجود هذه الـ Sources، وعن وجود الـ Impedances Z_1, Z_2, Z_0 مرور ثلاث تيارات يعبر عنها بـ (I_1, I_2, I_3) كما في الشكل (1 –7).



الشكل (7–1) تيار phase – a في الشبكات الثلاث

والمفترض أن يكون كل جزء من الشكل السابق مكوناً من ثلاث phases متماثلة طبقاً لنظرية الـ Symmetrical Compoenents، ولكن لتبسيط الرسم فقد رسمنا Phase – a فقط، وبالتالي فالشكل يعتبر Single Line Diagram حيث يظهر فيه phase – a فقط.

بمعنى آخر أنه أصبح لدينا بعد تحليل الشبكة الأصلية الغير متماثلة تسعة Sequence Currents هم على التوالي:

1. I_{a1}, I_{b1}, I_{c1} وهي تيارات تمر في Positive Sequence Network التي يوجد فيها V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}.
2. I_{a2}, I_{b2}, I_{c2} وهي تيارات تمر في Negative Sequence Network التي يوجد فيها V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}.
3. I_{ao}, I_{bo}, I_{co} وهي تيارات تمر في Zero Sequence Network التي يوجد فيها V_{ao}, V_{bo}, V_{co}.

مع ملاحظة أن Positive Sequence Voltage (or Currents) عبارة عن ثلاث Phases متساويين في المقدار وبينهم 120 درجة مثل أي Three Phases عادي. وهم متتابعون بعكس عقارب الساعة.

وبالمثل Voltages and Currents الموجودون في Negative Sequence Network فهم أيضاً مثل أي Three Phase عادي، مع فارق واحد وهو أن الـ Phasors الذين يمثلون هذه المجموعة متتابعون في اتجاه عقارب الساعة.

أما الـ Phasors الموجودة في المجموعة الثالثة وهي مجموعة Zero Sequence Network فهم متساوون في المقدار لكنهم جميعاً في نفس الاتجاه.

ولما كان V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} الخاصة بـ Positive Sequence Network جميعهم متساوون في المقدار ومختلفون فقط في الاتجاه فقد اتفق على كتابة الجميع بدلالة Phase – a كما في المعادلة:

$$V_{a1} = V_{a1}$$
$$V_{b1} = a^2 V_{a1}$$
$$V_{c1} = aV_{a1}$$
$$\text{Where } a = 1\angle 120^\circ,\ a^2 = 1\angle 240^\circ \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

حيث تم الاستعاضة عن اختلاف الاتجاه بالمقدار (a) والذي يغير الاتجاه وليس المقدار.

وبالمثل يمكن كتابة قيم الجهد والتيار في دوائر Negative Sequence كما يلي:

$$V_{a2} = V_{a2}$$
$$V_{b2} = aV_{a2}$$
$$V_{c2} = a^2V_{a2}$$

أما Zero Sequence فتختلف قليلاً عنهما لأن جميع Phasors في نفس الاتجاه:

$$V_{ao} = V_{ao}$$

$$V_{bo} = V_{ao}$$

$$V_{co} = V_{ao}$$

ونثبت بسهولة أن:

$$1 + a + a^2 = 1$$

ومن المهم أن نؤكد مرة أخرى على أن مجموع التيارات الثلاث $I_{a1} + I_{a2} +$ I_{ao} في الشبكات الثلاث المفترضة يساوي – بعد جمعهم جمعاً اتجاهياً – التيار الأصلي المار في الشبكة الأصلية. وذلك لأنهم في الواقع ناتجين من تحليل هذا التيار الغير متماثل.

إذن فالعلاقة بين التيار الغير متماثل المار في Phase ما وبين مركباته الثلاث تمثل كما في المعادلات التالية:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{ao}$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{ao}$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{ao}$$

ومن أجل التبسيط سنتكفي بكتابة الأرقام 1 و2 و0 فقط للدلالة على Sequences الثلاثة ولن نكتب الحرف a الذي يفهم من الكلام كما في المعادلات التالية وما بعدها في هذا الفصل:

$$I_c = aI_1 + I_2 + I_o I_a = I_1 + aI_2 + I_o I_b = a^2 I_2 + I_o$$

وأخيراً تجدر الإشارة إلى أن قيم الـ Sequence Currents I_1, I_2, I_o (أو الفولت) يمكن استنباطها من معرفة قيم التيارات (الفولت) في الـ phases الثلاثة طبقاً للمعادلات:

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

$$V_1 = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

$$V_2 = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c)$$

$$I_o = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

$$V_o = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

الخلاصة حتى الآن أنه يمكنك استنتاج قيمة Sequence Currents من معرفة Phase Currents والعكس صحيح. وبالطبع المعادلات السابقة تنطبق تماماً على الجهد.

لاحظ أيضاً من المعادلة رقم 7 أن تيار الـ Zero Sequence هو التيار الوحيد الذي يمكن بالفعل قياسه مباشرة، لأنه مجموع ثلاث تيارات حقيقية. أما التياران الآخران: Positive & Negative sequence currents فهما لا يمكن قياسهما مباشرة، بل يلزم عمل دوائر خاصة لقياس هذين التيارين من خلال إجراء تعديلات على دوائر القياس.

7.2.1 قيمة Sequence Impedances:

إن أي شبكة غير متماثلة Unsymmetrical يمكن تمثيلها بثلاث شبكات متماثلة هي:

Positive Sequence Network

Negative Sequence Network

Zero Sequence Network

وكل مجموعة من هذه الثلاثة تمثل بشبكة خاصة لهما Impedance مختلفة، وبالتالي فسيكون لدينا ثلاث Impedance مختلفة هم: Z_1, Z_2, Z_0، وهذه القيم لا تقاس بأجهزة القياس العادية ولكنك تحصل عليها من المصنع المنتج. وسنقدم هنا مع ملاحظة أن قيم المقاومات تكون دائماً صغيرة جداً في أغلب العناصر ويمكن إهمالها للتبسيط.

7.3 المولدات المتزامنة Synchronous Generators:

من المعروف أن الـ Reactance في المولد لها ثلاث قيم تتغير مع الزمن وهي:

$X_d``$ Sub – transient reactance

$X_d`$ transient reactance

X_d Steady reactance

والأولى هي القيمة لحظة حدوث العطل وتستمر فترة وجيزة وهي الأصغر في الثلاثة، يليها الثانية ثم الثالثة وهي القيمة التي يستقر عليها بعد فترة من حدوث العطل، واستقرار قيمة التيار عند حدود معينة.

وقيم المعاوقة تتأثر بعنصر آخر غير الزمن، وهو نوع المولد، وهل هو Silent Pole أم هو من نوع Round Rotor؟

وعموماً يمكن القول أن $X_1 = X_2$ في حالة Round Rotor، ويمكن كذلك أن نقول أن القيمتين مختلفتين في حالة Silent Pole لكن الاختلاف بسيط وليس كبيراً، أما X_0 فهي دائماً أقل من X_1 وأقل من X_2.

7.4 خطوط النقل Busbars:

عموماً يمكن أن نقول أن:

$X_1 = X_2 = 0.80$ hm per mile for single conductor TL

$X_1 = X_2 = 0.65$ ohm per mile for Bundle TL

أما قيمة X_0 فقيمتها مختلفة وغالباً تكون في حدود X_1 3:3.5.

7.5 المحولات Transformers:

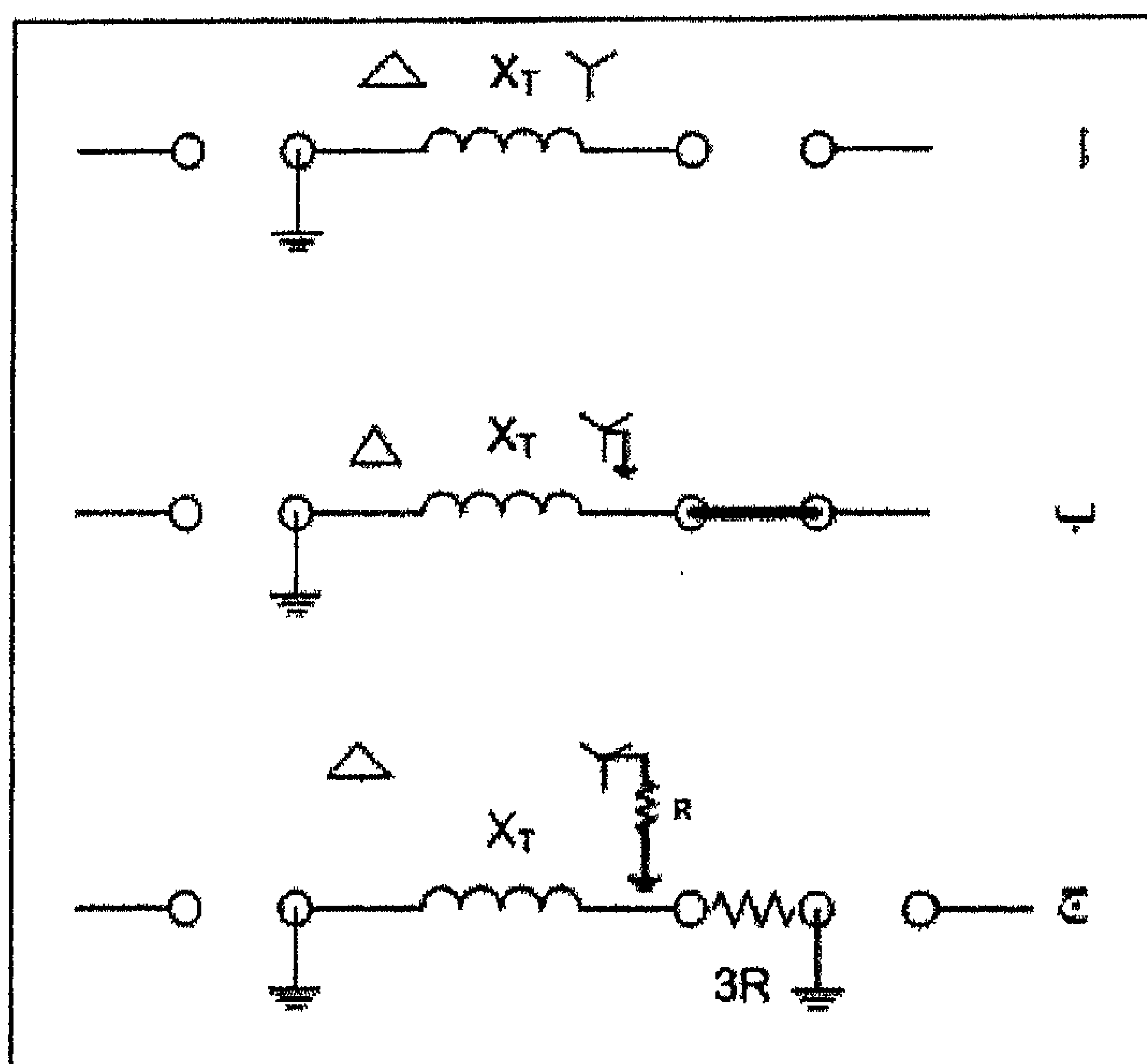
القيم الثلاثة لـ X_1, X_2, X_0 غالباً ما تكون متساوية.

7.5.1 توصيل Z_0 الخاصة بالمحولات:

من المعلوم أن كل جانب من جانبي المحول له Leakage Reactance وهما X_L, X_H لـ High and Low Voltage sides على التوالي، وأن X_H, X_L يتصلان معاً في الدائرة المكافئة للمحول على التوالي، ويعبر عنهما دائماً بـ $X_{transformer}$ أو باختصار X_T.

والآن فإن X_T هذه تتصل من خلال طرفيها (H, L) ببقية الشبكة طبقاً للقواعد التالية:

1) الطرف الموجود ناحية "جانب المحول الموصل ستار بدون تأريض": يترك مفتوحاً شكل (2–7).
2) الطرف الموجود ناحية "جانب المحول الموصل ستار مع تأريض": يتصل على التوالي ببقية الشبكة شكل (2–7).
3) الطرف الموجود ناحية "جانب المحول الموصل دلتا": يوصل بالأرض شكل (2–7).
4) الطرف الموجود ناحية "جانب المحول الموصل ستار ونقطة التعادل له متصلة بالأرض من خلال مقاومة": توصل هذه المقاومة كما في الشكل (2–7) (بعد ضربها في 3 لأن تيار الـ Phases الثلاثة يمر بها) على التوالي مع المقاومتين السابقتين (X_L, X_H أو التي تسمى أيضاً X_T).



الشكل (2–7) طرق اتصال Z_0 الخاصة بالمحول طبقاً لطريقة تأريضه وطريقة توصيله

وبتطبيق هذه القواعد يمكن بالتالي فهم كل التوصيلات من خلال الجدول (1–7).

	Two Winding Transformers		
	Three Phase Connection	Zero Sequence Circuit	Positive or Negative Sequence
a	L H	L Z_L Z_H H	L Z_L Z_H H
b	L H Z_{nH}	L Z_L Z_H H $3Z_{nH}$	L Z_L Z_H H
c	L H	L Z_L Z_H H	L Z_L Z_H H
d	L H	L Z_L Z_H H	L Z_L Z_H H
e	Z_{nL} L H Z_{nH}	L $3Z_{nL}$ H Z_L $3Z_{nH}$ Z_H	L Z_L Z_H H
f	L H	L Z_L Z_H H	L Z_L Z_H H
g	L H	L Z_L Z_H H	L Z_L Z_H H
h	L H	L Z_L Z_H H	L Z_L Z_H H

جدول (1–7)

حساب قيمة التيارات:

وبعد تحديد قيم X_1, X_2, X_0 إذا أهملنا المقاومات، فإنه وطبقاً لنظرية الـ Symmetrical Components فإن الـ Sequence Networks الثلاثة يتم توصيلها معاً بطريقة ما (أحياناً يكون كلهم على التوالي أو كلهم على التوازي أو خليط بين التوالي والتوازي) حسب نوع العطل، حيث يشترط في التوصيلة أن تحقق دائماً المعارضة رقم 7 كما يلي:

عطل من النوع 1 – L – G:

في هذا النوع من الأعطال تكون $I_b = I_c = 0$ وبالتعويض في المعادلة رقم 7 سنجد أن الثلاث Sequence currents كلهم متساوون أي أن $I_0 = I_2 = I_1$ وهذا يعني أن الـ Sequences Networks الثلاثة لا بد أن يتصلوا على التوالي كما في الشكل (أ 3–7).

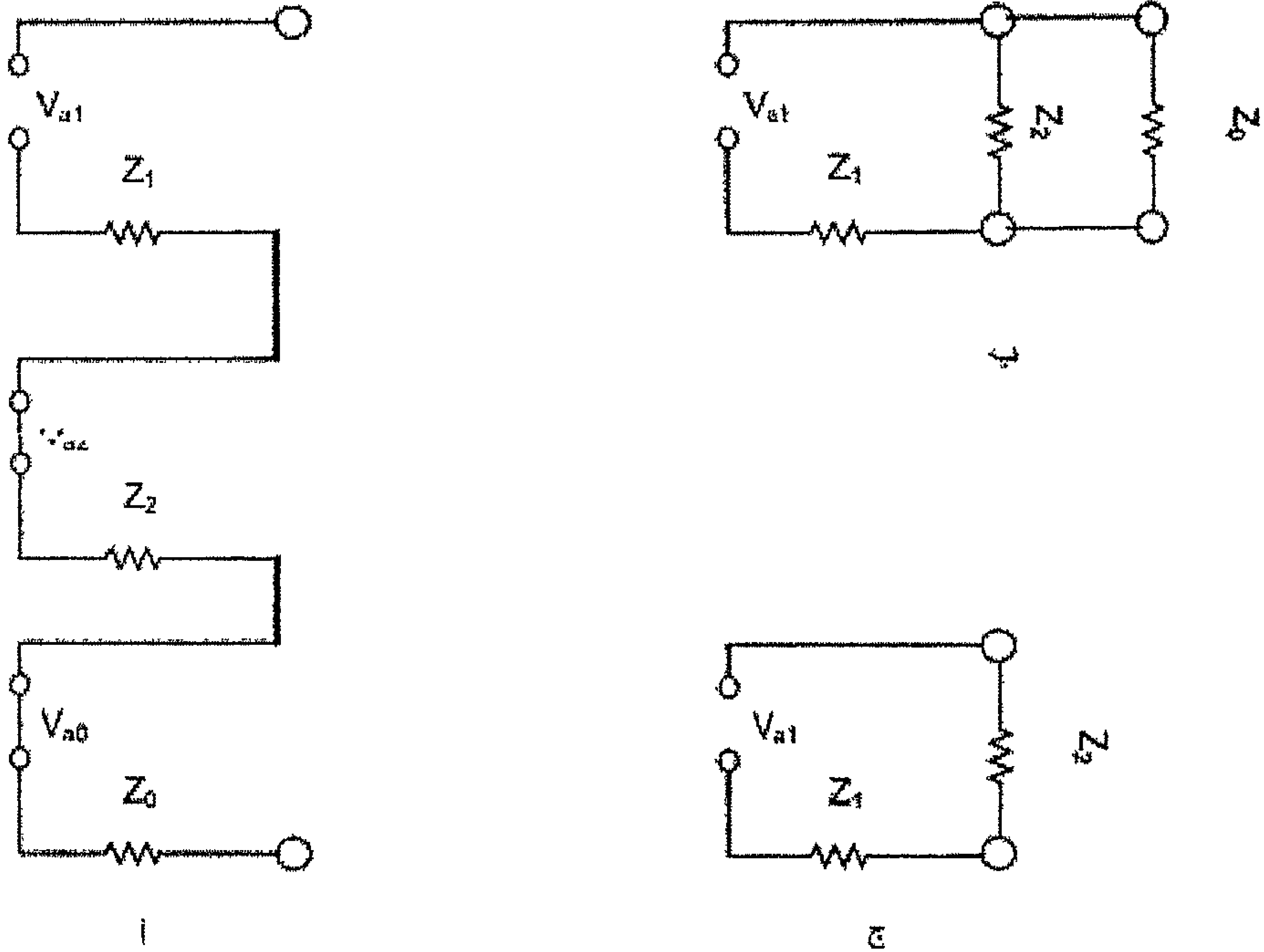
عطل من النوع 2 – L – G:

في هذا النوع من الأعطال تكون $V_b = V_c = 0$ وبالتعويض في المعادلة رقم 7 سنجد أن الثلاث Sequence Voltages كلهم متساوون أي أن $V_0 = V_2 = V_1$، وهذا يعني أن الـ Sequences Networks الثلاثة لا بد أن يتصلوا على التوازي كما في الشكل (ب 3–7).

عطل من النوع L – L:

في هذا النوع من الأعطال تكون $V_b = V_c$ وكذلك $I_b = - I_c$ مع العلم أن $I_a = 0$ وبالتعويض في المعادلة رقم 7 سنجد أن:

وأن $I_1 = - I_2$ وأن $I_o = 0$ وهذا يعني الـ Zero Sequences غير موجودة وأن Positive Sequence والـ Negative Sequence متصلين معاً على التوازي كما في الشكل (ج 3–7).



الشكل (3–7)

الجزء العملي

تمهيد

التجربة رقم 1: تحديد نسبة التحويل ونسبة الدقة لمحول تيار أحادي الوجه

1) أهداف التجربة:

الهدف من هذه التجربة هو تحديد نسبة التحويل لمحول تيار أحادي الوجه 1 Φ C.T عند الحمل الكامل وزيادة التحميل (over-load). أيضا نسبة الخطأ في التحويل أو بمعنى آخر مدى دقة المحول سيتم تحديدها في كلتا الحالتين مخبريا.

2) الأجهزة المستخدمة:

- مصدر تغذية ثلاثي الأوجه ذو جهد متغير Variable 3 Φ Power Supply
- مصدر جهد متغير (0-380 V) 3x مقنن تياره 7A مزود بثلاثة قواطع حرارية thermal relays مقنن تيار كل منها 6.5A.
- محول تيار أحادي الوجه (1 Φ current transformer (cat. N° 74510
محول تيار 1Φ بالمواصفات التالية: مقنن تيار الابتدائي 5A ومقنن تيار الثانوي 1A. المحول مزود بمأخذ Tap يمكن من خلاله تغيير نسبة تحويل محول التيار. الأطراف 1.1 و 1.2 لنسبة تحويل 1:1 والأطراف 2.1 و 3.1 لنسبة تحويل 5:1.
- حمل محول التيار (Load for current transformer (cat N° 74511
حمل كهربائي مكون من مقاومتين معزولتين عن بعضهما البعض. احدى هذه المقاومات ثابتة القيمة ومقاومتها تساوي $R_1 = 0.56\Omega$ تيارها المقنن 6.5A. والمقاومة الثانية متغيرة القيمة تساوي $R_2 = 0 \rightarrow 56\Omega$ وتيارها المقنن 1A. هذه المقاومة مزودة بمصهر (fuse) لحمايتها من زيادة الحمل.
- حمل مقاومي 3Φ resistive load (cat N° 73310) 3Φ، حمل مقاومي 3Φ مكون من ثلاثة مقاومات متغيرة قيمة كلا منها

$R = 0 \ldots 1000\ \Omega$، وثلاثة مقاومات ثابتة قيمة كلا منها $R=22\Omega$.
مقنن التيار لهذه المقاومات 3A.

- عدد 2 أميتر.

3) خطوات تجربة الحمل الكامل Set-up of full load experiment

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو مبين في الشكل رقم (1).

ملحوظة: من الواضح أن المقاومات الثلاثة التي يتكون منها الحمل 3Φ متصلة على التوازي وبالتالي فان التيار المقنن المكافىء في هذه الحالة سيكون (3x3A = 9A).

- ضبط قيمة المقاومة المتغيرة عند 100٪ في بداية التجربة وذلك لمنع مرور تيار عالي في ملفات ابتدائي وثانوي محول التيار.
- ضبط قيمة مقاومة الحمل المتصل على أطراف ثانوي محول التيار عند 0٪.
- توصيل أطراف الابتدائي لمحول التيار بحيث نحصل نسبة تحويل 1:1 (استخدام الأطراف 1.1–2.1).
- زيادة جهد التغذية تدريجيا أو تغيير قيمة المقاومة المتغيرة ناحية الابتدائي حتى نحصل على قيم تيار بين $1A \rightarrow 0.1A$ في دائرة الابتدائي.
- رصد قيمة تيار الثانوي المناظر في كل حالة وتدوين نتائج التجربة في الجدول التالي:

تيار الابتدائي (I_1)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
تيار الثانوي (I_2)										
نسبة الخطأ ($F_i\%$)										

ملحوظة: لتحديد نسبة الخطأ في التحويل، استخدام المعادلة التالية:

$$F_i = \frac{nI_2 - I_1}{I_1} 100 = \text{نسبة الخطأ}$$

- حيث أن n تساوي نسبة التحويل (في هذه الحالة تساوي 1).
- اعادة خطوات التجربة السابقة بعد تغيير التوصيلات 3.1-2.1 (نسبة التحويل 5:1).
- زيادة جهد التغذية تدريجيا أو تغيير قيمة المقاومة المتغيرة ناحية ابتدائي محول التيار حتى نحصل على قيم تيار بين 5.5A → 1A.
- رصد قيمة التيار الثانوي المناظر وحساب نسبة الخطأ في كل حالة.
- تدوين نتائج التجربة في الجدول التالي:

تيار الابتدائي (I_1)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
تيار الثانوي (I_2)										
نسبة الخطأ (F_i%)										

4) خطوات تجربة زيادة الحمل

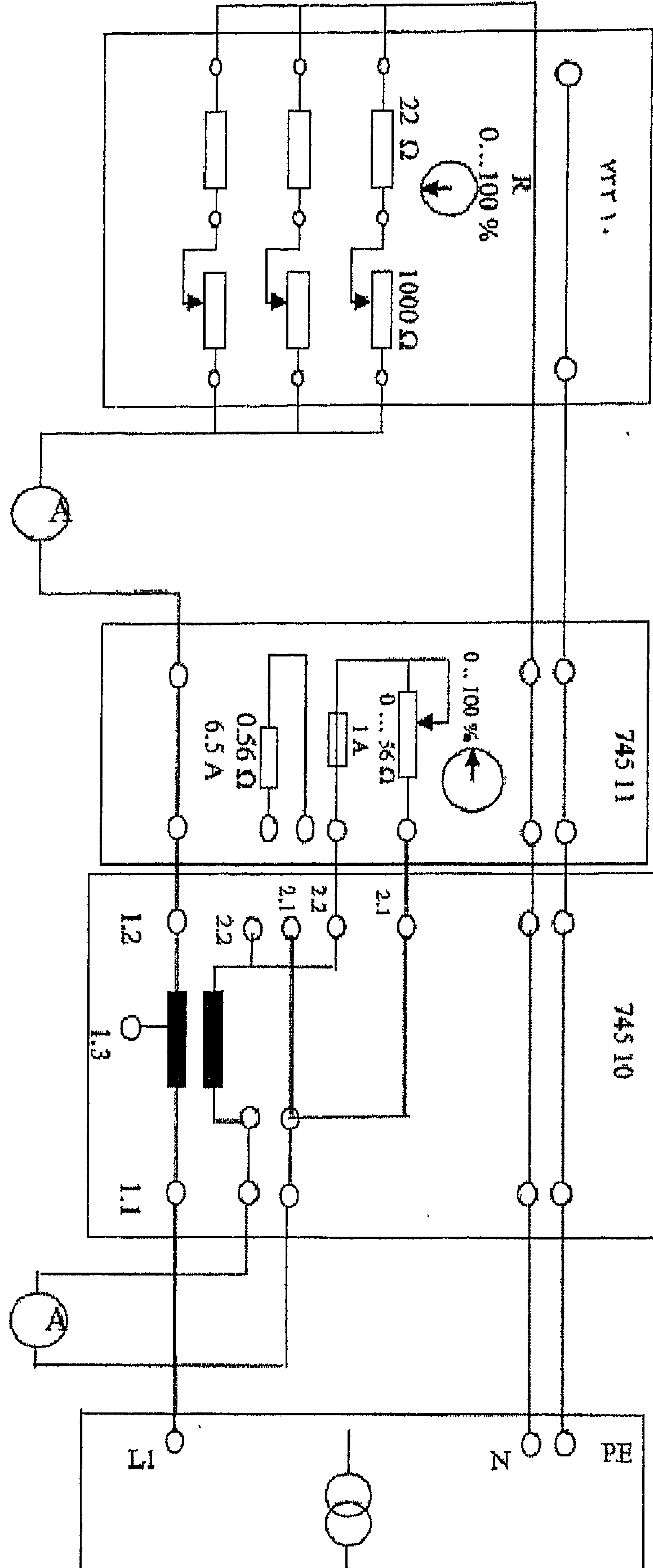
على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل التجربة كما هو موضح في الشكل (2)
- توصيل محول التيار بحيث يعطي نسبة تحويل 1:1 (أي الأطراف 1.1 – 2.1).
- تغيير جهد التغذية حتى نحصل على تيار في دائرة الابتدائي بين 6A → 1A
- رصد قيمة تيار الثانوي المناظر وحساب نسبة الخطأ في كل حالة.
- تسجيل نتائج التجربة في الجدول التالي:

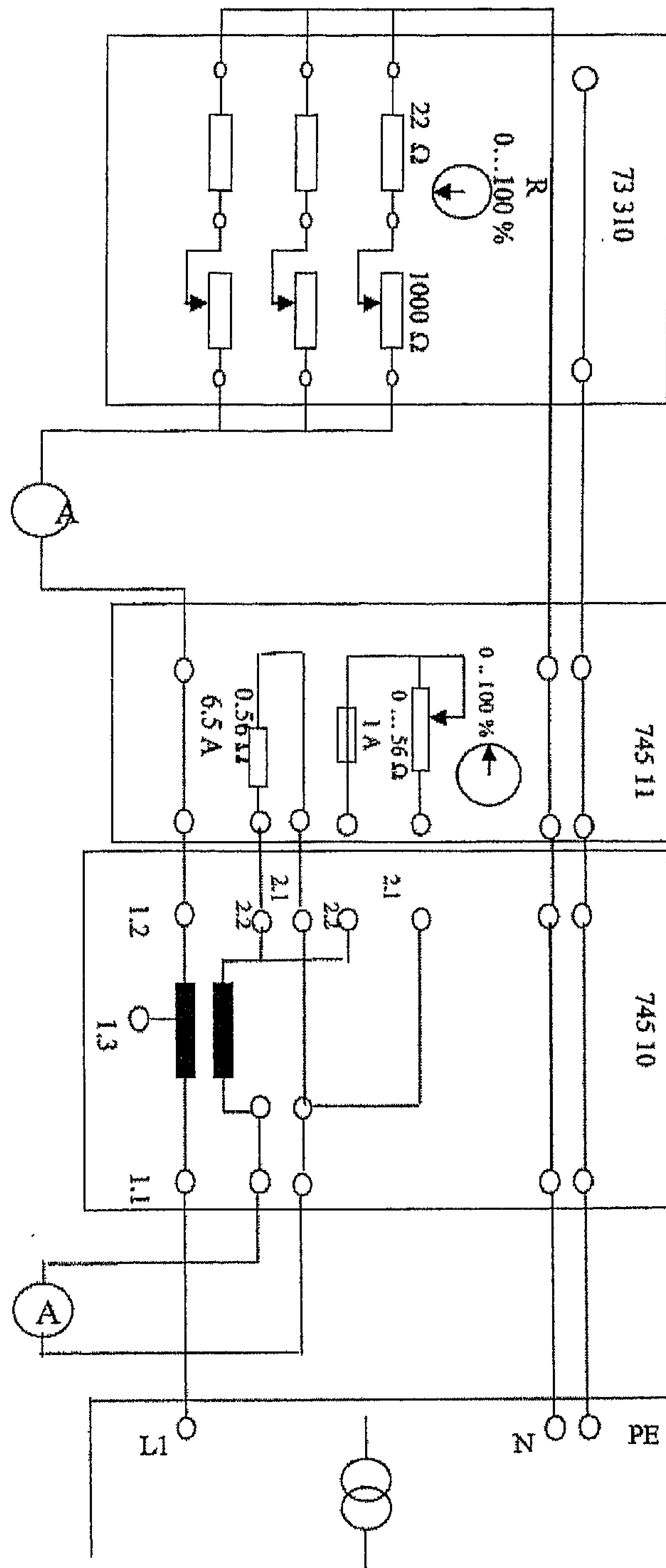
تيار الابتدائي (I_1)	1	2	3	4	5	6
تيار الثانوي (I_2)						
نسبة الخطأ (F_i%)						

ملحوظات هامة:

- يجب أن لايترك ثانوي محول التيار مفتوحا تحت أي ظرف من الظروف والا سيؤدي ذلك الى اتلاف ملفات المحول بسبب الجهد العالي الناتج في هذه الحالة على أطراف الثانوي.
- يجب أن لا يزيد التيار المار في المقاومة المتغيرة الموصلة على أطراف ثانوي المحول (في تجربة الحمل الكامل) عن 1A والا سيؤدي ذلك الى عمل المصهر وبالتالي فتح دائرة ثانوي المحول.



شكل (1): تحديد نسبة التحويل والدقة لمحول تيار أحادي الطور



شكل (2) تحديد نسبة التحويل والدقة لمحول تيار أحادي الطور عند زيادة الحمل

التجربة 2: قياس التيار في دائرة 3Φ في حالة حمل متماثل وحمل غير متماثل

وذلك باستخدام محول تيار 3Φ ومحول جمع

1) أهدف التجربة

تستخدم محولات التيار 3Φ عمليا اما لتغذية ملفات مرحل وقاية 3Φ أو لتغذية أجهزة قياس تيار Ammeters. أما بالنسبة لمحولات الجمع فانها تستخدم لقياس تيار تتابعية الصفرية (Zero-sequence current) الناتج عن عدم تماثل الأحمال على الأوجه الثلاثة في الشبكة الكهربائية.

الهدف من هذه التجربة هو قياس التيار في دائرة 3Φ في حالة حمل متماثل وغير متامثل باستخدام محول تيار3Φ ومحول جمع.

2) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

- مصدر تغذية ثلاثي الطور ذو جهد متغير Variable 3Φ Power supply
- ومصدر الجهد متغير من (0 – 380 فولت) 3x بتيار مقنن 7A ومزود بـ 3 thermal relays ومقنن تيار كل منهما 6.5 A.
- أميتر عدد3 .
- حمل مقاومي 1Φ Resistiveload(catN74515). مكون من مقاومتين كالتالي:

- المقاومة الأولى R=220Ω وبتيار مقنن 0.5 A ويتم حمايتها من خلال مصهر 0.5 A.
- المقاومة الثانية R=0→1500Ω ومقنن تيارها 0.25A ومحمية من خلال مصهر 0.25A وهذه المقاومة متصلة على التوالي مع مقاومة ثابتة مقدارها 400Ω ومقنن تيارها 0.25A.

- حمل مقاومي 3Φ Resistive load (cat N° 73310) 3Φ
  حمل مقاومي 3Φ مكون من ثلاثة مقاومات متغيرة قيمة كلا منها R = 0 .... 1000Ω، وثلاثة مقاومات ثابتة قيمة كلا منها R = 22Ω.
  مقنن التيار لهذه المقاومات 3A.
- محول تيار جمع Summation current transformers cat N° 74530
  نسبة تحويل المحول 2.5:1 ومقنن تيار الابتدائي 2.5A.

3) **خطوات تجربة محول التيار 3Φ:**

1.3) حالة الحمل المتماثل Symmetrical load:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح في شكل (2)، على أن تكون محولات التيار في الأوجه الثلاثة موصلة بحيث يعطي نسبة تحويل 1:1.
- ضبط المقاومة 3Φ عند 100٪ في بداية التجربة.
- زيادة جهد التغذية تدريجيا أو تقليل المقاومة 3Φ بحيث لايزيد التيار في أي من ال Ammeters عن 1A.
- رصد قيم التيارات في كل من أجهزة قياس التيار الثلاثة عندما يكون الحيادي N موصلا في الدائرة وعندما يكون مفصولا.

ملحوظة: في كلتا الحالتين يجب أن تكون قيمة التيار متساوية تقريبا في الأوجه الثلاثة لأن الحمل في هذه الحالة متماثل. أي عدم تطابق في قيم التيارات في الأوجه الثلاثة يعود الى عدم الدقة في أجهزة القياس.

2.3) حالة الحمل الغير متماثل Un-symmetrical load

لاختبار حالة الحمل الغير متماثل على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح في الشكل (2) مع اختلاف واحد فقط:
- أن يوصل الحمل المقاومي 1Φ (المقاومة المتغيرة فقط) على التوازي مع المقاومة المتصلة بالخط L_1
- ان يضبط المقاومة 1Φ عند 50٪ والمقاومة المتصلة بالخط L_1 عند 30٪
- زيادة جهد التغذية حتى يحصل على تيار في الوجه A ما بين 0.04 → 0.2A
- رصد التيارات المناظرة في الأوجه B,C عندما يكون الحيادي N موصولا في الدائرة وعندما يكون مفصولا.
- تدوين النتائج في الجداول التالية:

I_1	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2
I_2					
I_3					

جدول 1: الحيادي N موصول

I_1	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2
I_2					
I_3					

جدول 2: الحيادي N مفصول

ملحوظة: قيمة التيار في الأوجه الثلاثة يجب أن لا تكون متساوية بسبب عدم تساوي الحمل (تيار الوجه A مختلف عن التيارات المارة في الأوجه B,C)

4) قياس تيار التتابعية الصفرية Measurement of zero-sequence current

1.4) قياس تيار التتابعية الصفرية باستخدام محول تيار 3Φ:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (3)
- رفع جهد التغذية حتى يصل التيار في ال Ammeter الموصول في دائرة الابتدائي الى 0.4A مثلا. لاحظ قراءة ال Ammeter الموصل في دائرة الثانوي (يجب أن تكون صفرا) لأن هذا ال Ammeter يقيس المجموع الاتجاهي للتيارات في الأوجه الثلاثة. هذا المجموع يجب أن يكون صفرا اذا كان الحمل متماثلا تماما.
- فصل الموصل L_1 من الدائرة (مع المحافظة على مستوى جهد التغذية السابق). في هذه الحالة قراءة التيار في ال Ammeter الموصل في دائرة الابتدائي يجب أن تكون صفرا. لاحظ قراءة ال Ammeter في دائرة الثانوي؟؟
- اعادة الخطوات السابقة على أن يكون الحيادي مفصولا من دائرة الملف الثانوي لمحول التيار. سيلاحظ المتدرب بأن التيار المقاس بواسطة ال Ammeter الموصل في دائرة الثانوي يساوي صفرا في الحالتين. المطلوب شرح السبب.

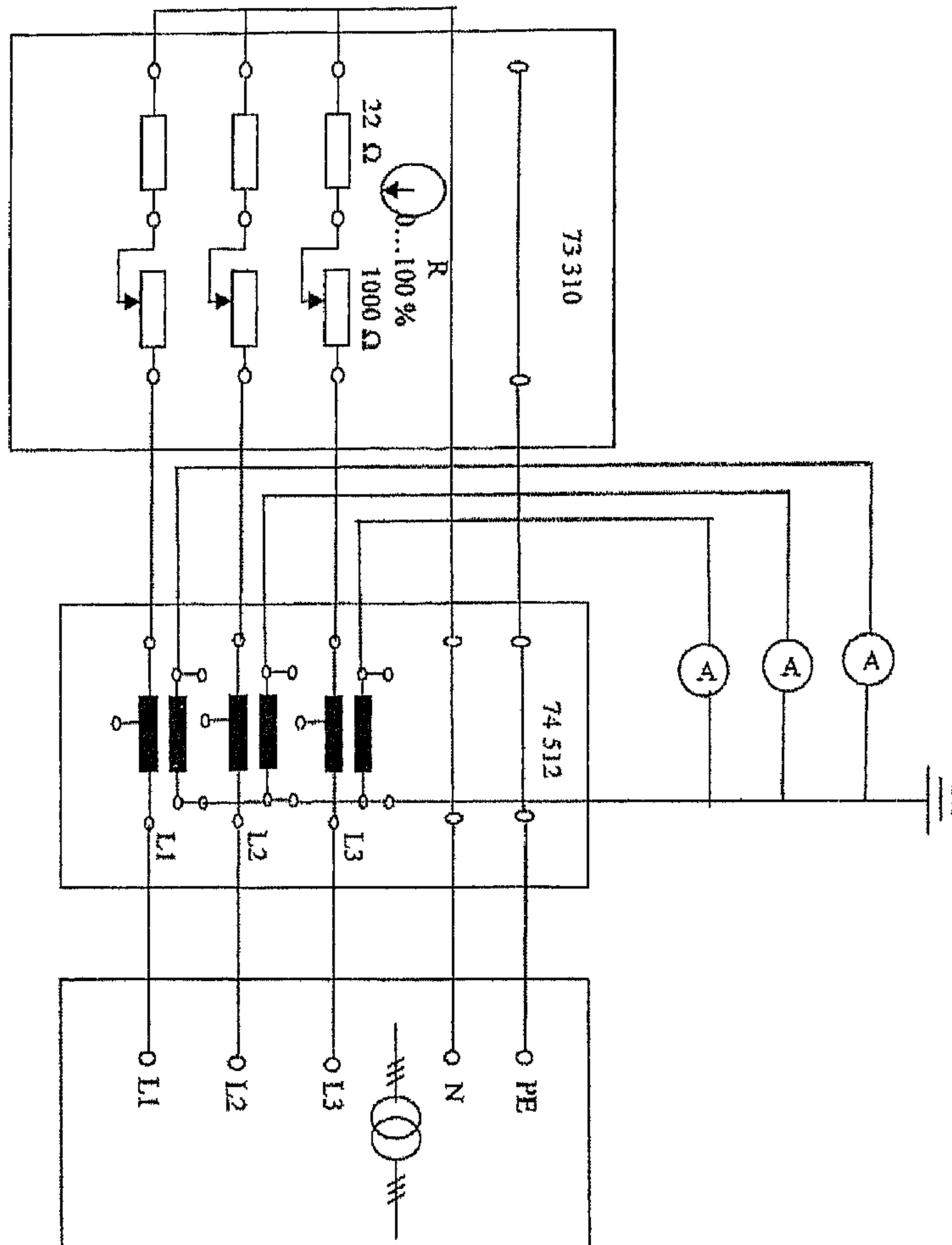
2.4) قياس تيار التتابعية الصفرية باستخدام محول تيار جمع:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (4)
- رفع جهد التغذية الى اقصى قيمة 220V وملاحظة قراءة ال Ammeter في دائرة الثانوي عند قيم مختلفة للمقاومة. التيار يجب أن يكون صفرا أو قريبا من الصفر لأن الاحمال متماثلة على الأوجه الثلاثة.

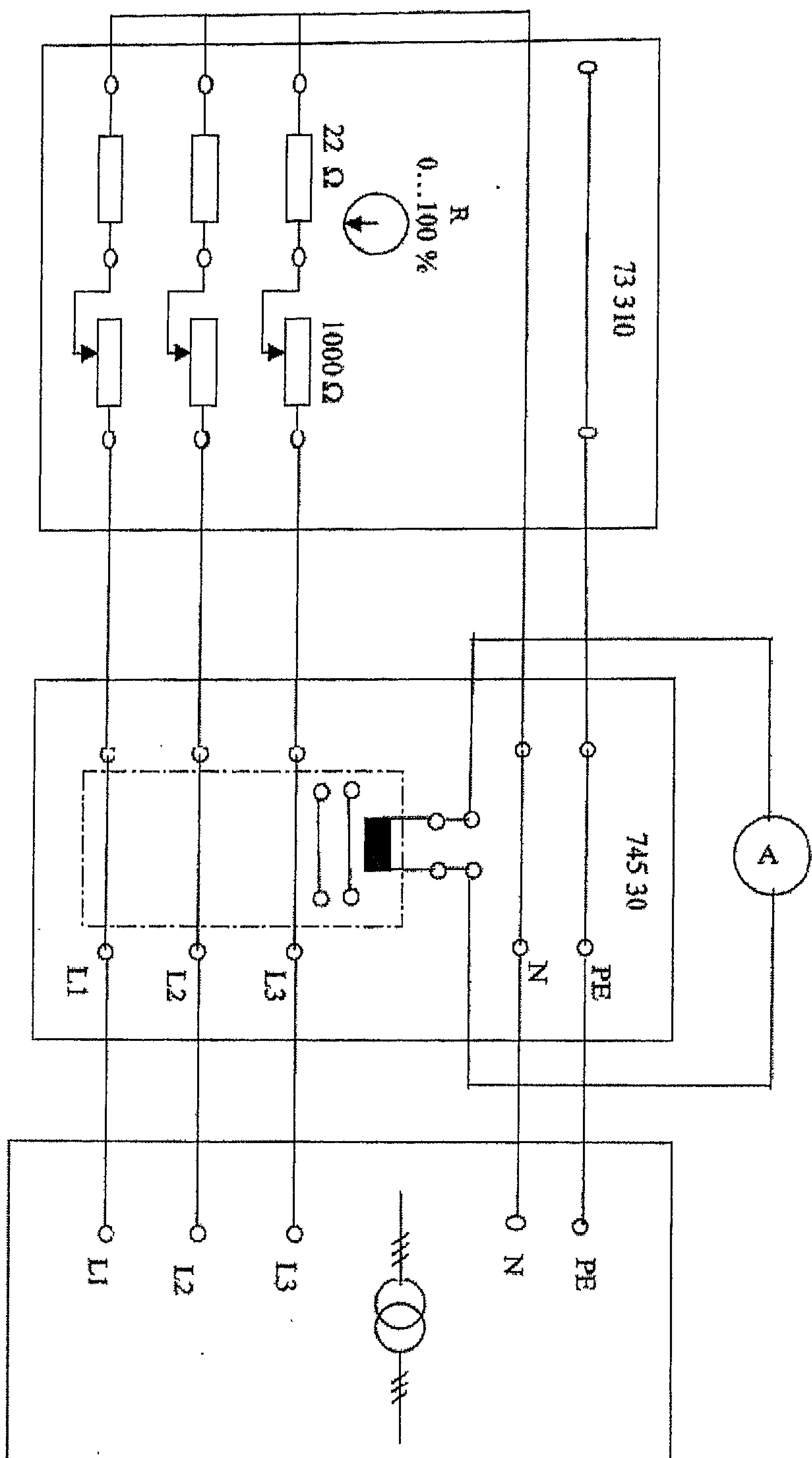
- فصل الموصل L_1 من الدائرة وملاحظة قراءة ال Ammeter في دائرة الثانوي عند قيم مختلفة للمقاومة. التيار يجب أن لا يكون صفرا لأن الأحمال غير متماثلة.
- رصد قيمة التيار مثلا عندما يكون الحمل المقاومي عند 50٪.
- اعادة الخطوات السابقة على أن يكون الحيادي مفصولا. تدوين الملاحظات.

ملحوظة: باستخدام محول تيار الجمع فان ال Ammeter الموصل على أطراف ملفات ثانوي محول التيار سيقيس تيارا في حالة عدم التماثل بغض النظر عما اذا كانت نقطة الحيادي مفصولة أو موصولة في الدائرة.



شكل (1) اختبار محول تيار ثلاثي الطور عند الحمل المتماثل

شكل (2) اختبار محول تيار ثلاثي الطور في عند الحمل الغير متماثل



شكل (3) قياس تيار التتابعية الصفرية باستخدام محول تيار جمع

التجربة 3: اختبار نسبة تحويل ودقة محول الجهد

1) أهداف التجربة:

تستخدم محولات الجهد في دوائر الجهد العالي للأسباب التالية:

- لانقاص جهود نظام القدرة الى قيم صغيرة تكون مناسبة لاجهزة التحكم والقياس والحماية.
- لعزل دوائر الأجهزة المستخدمة عند دائرة الجهد العالي.
- لتوحيد قيمة الجهد الى قيمة نظامية تغذي أجهزة القياس والتحكم والحماية.

2) التحقق من نسبة تحويل محول جهد احادي الطور ومدى دقة المحول.

الأجهزة المستخدمة:

- مصدر تغذية ثلاثي الأوجه ذو جهد متغير Variable 3Φ Power Supply
- مصدر جهد متغير 3x(0-380V) مقنن تياره 7A مزود بثلاثة قواطع حرارية thermal relays مقنن تيار كل منها 6.5A.
- حمل مقاومي أحادي الوجه 1Φ resistive load (cat. N° 74515)
- حمل مقاومي 1Φ مكون من مقاومتين:

- المقاومة الأولى ثابتة R=220Ω ومقنن تيارها 0.5A ومحمية بواسطة مصهر 0.5A
- المقاومة الثانية متغيرة R=0-1500Ω ومقنن تيارها 0.25A ومحمية بواسطة مصهر 0.25A هذه المقاومة متصلة على التوالي مع مقاومة ثابتة 400Ω ومقنن تيارها 0.25A.

- أجهزة لقياس الجهد عدد 3: 3 EA A.C Voltmeters

- محول جهد 1Φ : 1Φ Voltage transformer محول مصمم للعمل عند جهد ابتدائي 220V بين الأطراف 1.2 - 1.1. اما الثانوي فانه مزود بملفين. الجهد المقنن بين الأطراف 2.2 – 2.1 هو $57.7\ V = \frac{100}{\sqrt{3}}$ وبين الأطراف 3.2 – 3.1 هو $\frac{100}{3}$=33.3V أي أن نسبة التحويل قد تكون اما 3.8 أو 6.6. ملحوظة: لا يجب ترك ملفات ثانوي محول الجهد مقصورة تحت أي ظرف من الظروف والا سيؤدي ذلك الى تلف ملفات المحول.

3) خطوات التجربة:

1.3) اختبار نسبة التحويل ودقة المحول عندما تكون ملفات الثانوي مفتوحة

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل التجربة كما هو موضح في الشكل (1)
- رفع جهد التغذية من 20V الى 220V بخطوة 40V ورصد التالي:

  - جهد الابتدائي بين الأطراف 1.2 – 1.1
  - جهد الثانوي بين الأطراف 2.2 – 2.1
  - جهد الثانوي بين الأطراف 3.2 – 3.1

- تدوين النتائج في الجدول التالي:

220 V	180 V	140 V	100 V	60 V	20 V	جهد الإبتدائي [1.1 – 1.2]
						جهد الثانوي [2.2 – 2.1]
						نسبة الخطأ F_i
						جهد الثانوي [3.2 – 3.1]
						نسبة الخطأ F_i

احسب نسبة الخطأ من المعادلات التالية:

نسبة الخطأ الأولى : $\frac{n_1V_2 - V_1}{V_1}100$ ، حيث $n_1 = 3.81$

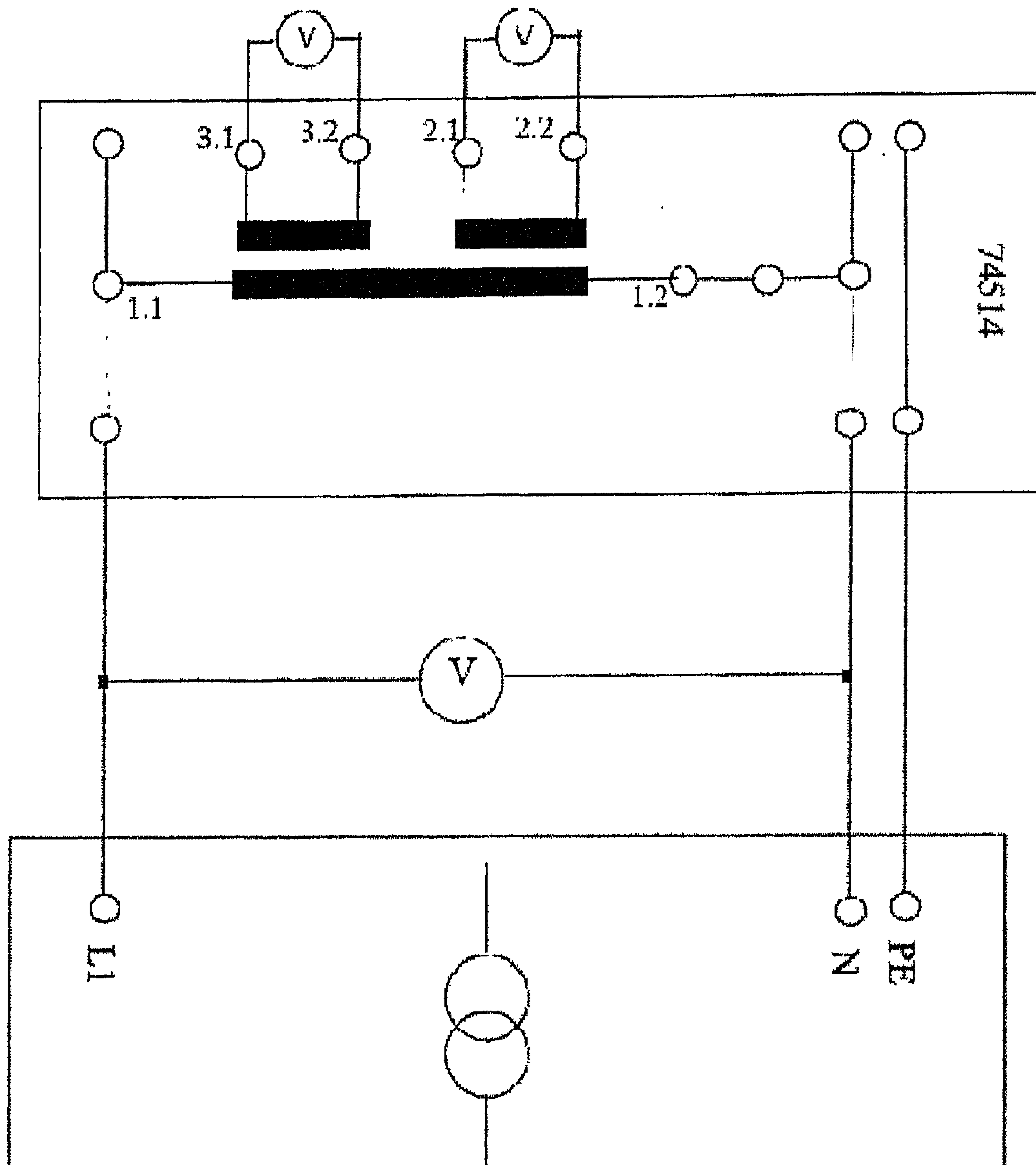
نسبة الخطأ الثانية : $\frac{n_2V_2 - V_1}{V_1}100$ ، حيث $n_2 = 6.6$

2.3) اختبار تأثير حمل الثانوي على نسبة التحويل

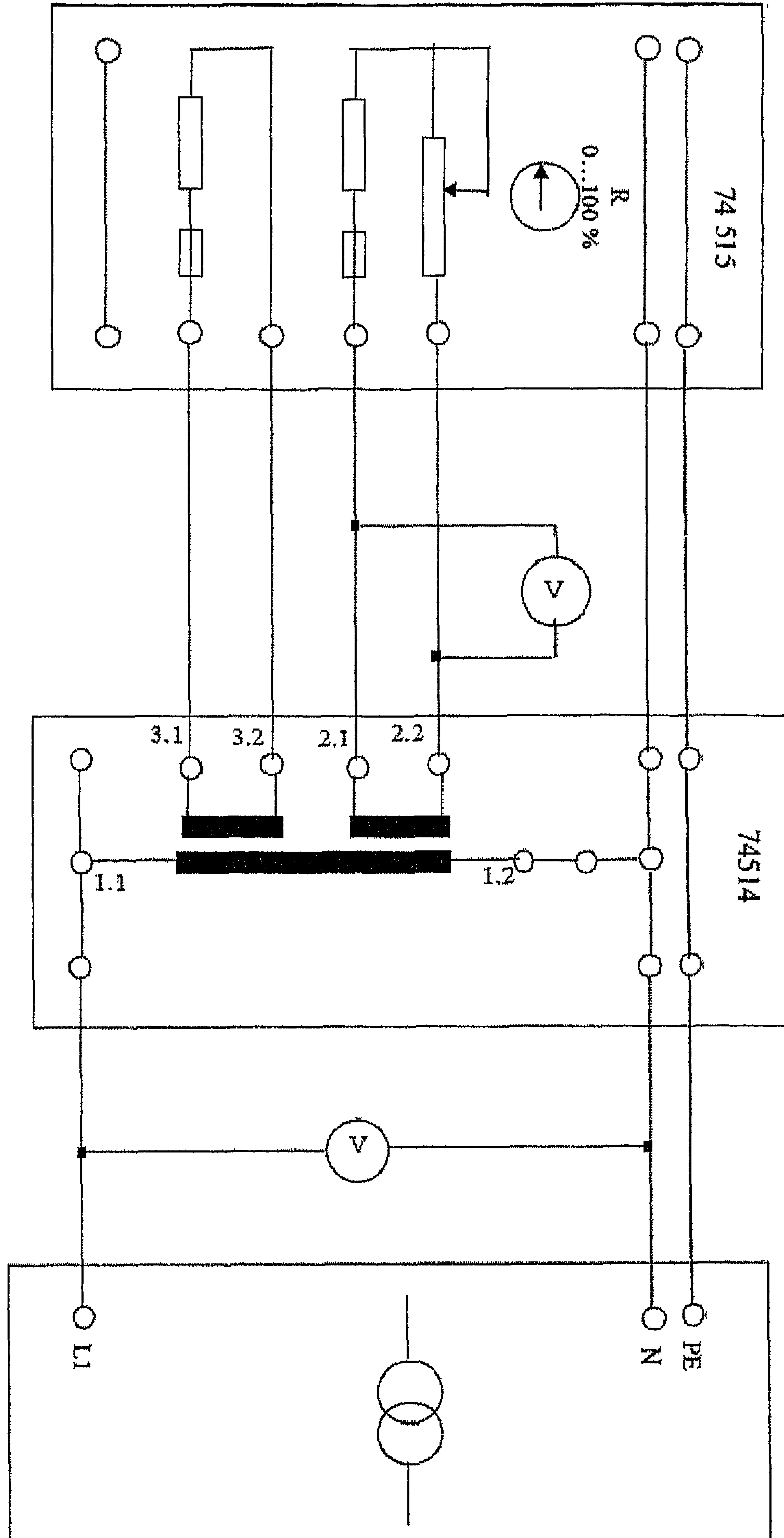
على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل التجربة كما هو موضح في الشكل (2).
- التأكد بأن المقاومة المتغيرة مضبوطة عند100٪ في بداية التجربة.
- ضبط جهد التغذية على 200 فولت ورصد قيمة الجهد بين الاطراف 2.2 – 2.1 عند قيم متغيرة للمقاومة.
- تسجيل النتائج في الجدول التالي:

نسبة الحمل المتغير	100%	80%	60%	40%	20%	0%
الجهد V_2 (2.1 – 2.2)						



شكل (1): اختبار نسبة تحويل ودقة محول جهد أحادي الطور



شكل (2): اختبار تأثير حمل الثانوي على نسبة التحويل

التجربة 4: اختبار نسبة تحويل ودقة محول جهد ثلاثي الأوجه

1) أهداف التجربة

الهدف من هذه التجربة هو التأكد من نسبة تحويل محول جهد ثلاثي الأوجه عندما تكون ملفات الثانوي مفتوحة (open-circuit). أيضا قياس الجهد بين الأرضي والحيادي في حالة حدوث قصر بين أحد الأوجه والأرض وعدم تأريض نقطة الحيادي.

2) الأجهزة المستخدمة في التجربة

- مصدر تغذية ثلاثي الأوجه ذو جهد متغير Variable 3Φ Power Supply
- مصدر جهد متغير(3x(0-380V مقنن تياره 7A مزود بثلاثة قواطع حرارية Thermal relays مقنن تيار كل منها 6.5A.
- محول جهد ثلاثي الأوجه (3Φ voltage transformer (cat N° 74516

يتكون هذا المحول من ثلاثة محولات أحادي الوجه. مواصفات المحولات مطابقة لمواصفات محول الجهد الذي سبق ذكره (cat N° 74514)

- أربعة فولتمترات 4 EA Voltmeters

3) خطوات التجربة:

1.3) قياس نسبة تحويل المحول

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1). بمعنى آخر توصيل ملفات الابتدائي بشكل نجمة مع التأكد من توصيل نقطة الحيادي لمحول الجهد ناحية النجمة بنقطة الحيادي التابعة لمصدر الجهد المتغير.

- توصـــيل فـــولتميتر بـــين الخطـــين L_1, L_2 ناحيـــة الابتـــدائي. وظيفـــة هـــذا الفولتميتر هي قياس الجهد الخطي ناحية الابتدائي V_{L-L}
- توصيل ثلاثة فولتميترات على أطراف ملفات ثانوي المحول التي تعطي نسبة تحول 3.8:1 الجهد المقاس في هذه الحالة هو الجهد الخطي للملفات الثانوي.
- توصيل فولتميتر بين الحيادي n والأرضي e ناحية الثانوي.
- زيادة جهد المصدر تدريجيا ورصد قراءة الفولتميتر الموصل بين L_1, L_2 والفولتميترات الثلاثة ناحية الثانوي والفولتميتر المتصل بين n, e في كل حالة.
- التأكد من نسبة تحويل المحول 3.8:1 وأن الجهد $V_{en} = 0$ في هذه الحالة.

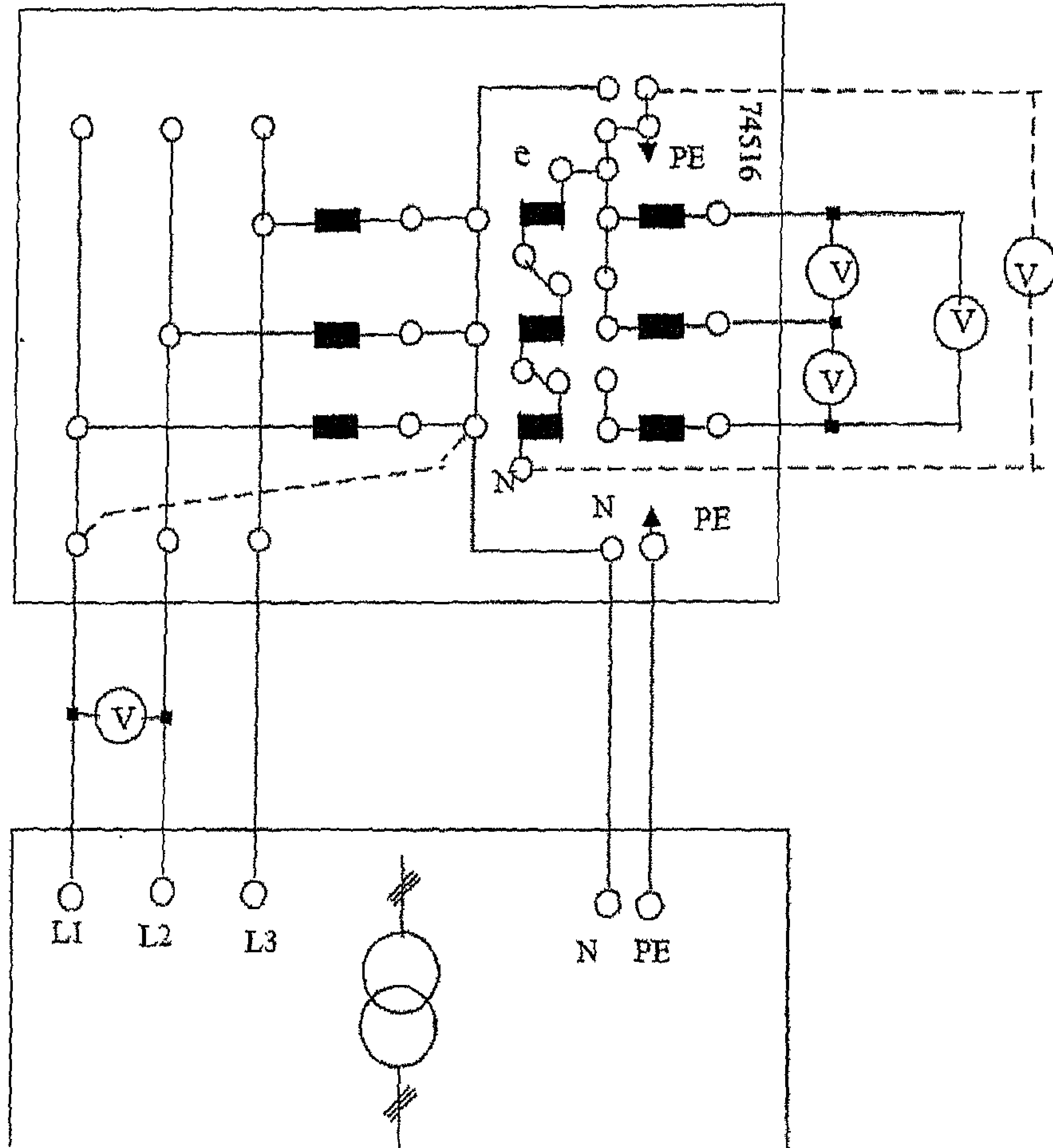
2.3) تمثيل القصر الأرضي عندما يكون الحيادي معزولا

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل التجربة كما هو موضح في شكل رقم (1) مع بعض التغييرات:

- فصل نقطة حيادي محول الجهد ناحية الابتدائي.
- التوصيل ما بين الوجه L_1 ونقطة حيادي محول الجهد (هذا يعني قصر أرضي)

- اعادة خطوات التجربة السابقة.
- التأكد في هذه الحالة بأن $V_{en} \neq 0$ مع شرح السبب.



شكل (1) اختبار نسبة تحويل محول جهد ثلاثي الطور

خط نقل هوائي متوسط توصيلة π – 100 كم

تجربة رقم 4: حماية خطوط النقل باستخدام جهاز حماية استاتيكية

تطبيق المرحل الاستاتيكي

1) اهداف التجربة:

ان الهدف من اجراء هذه التجربة هو معرفة كيفية حماية خطوط النقل عند زيادة التيار وذلك بأستخدام مرحل زيادة التيار ذو الخصائص العكسية من النوع الاستاتيكي.حيث يتم اختبارالمرحل في الحالات التالية:

- قصر بين ثلاثة خطوط متماثلة
- قصر بين خطين

2) الأجهزة المستخدمة في التجربة

- وحدة قاطع آلي circuit breaker module (cat n 74556)
- محول 3Φ transformer (cat n 74550) 3Φ
- حمل مقاومي 3Φ Resistive load (cat n 73310) 3Φ
- مرحل زيادة تيار ذو خصائص عكسية 3Φ Inverse-time overcurrent- (cat n 75523) relay
- اميتر وفولتميتر.
- موديل خط نقل Transmission line النموذج المستخدم في التجربة هو عبارة عن وحدة π لخط نقل 3 Φ بجهد 380KV.ويتم التطبيق على مسافات مختلفة، بطول 360Km, 216 Km, 144 Km

والجدول التالي يبين قيمة كل من C, L, R عند الأطوال المختلفة للخط:

طول الخط بالـ km	360	216	144
المقاومة بالـ Ω	13	8	5
المحاثة بالـ mH	290	174	116
المكثف بالـ µF	5	3	2

وفي هذه التجربة يمثل حالة خط طويل π 360Km :

$R = 13\ \Omega,\ L = 290\ mH,\ C_B = 5\ \mu F$

3) خطوات التجربة

1.3) الحالة النظامية

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح في الشكل (1)
- ضبط المرحل عند تيار التقاط 1A وتأخير زمني 1 sec والتأكد بأن الملامسات 2 – 1 في وضع مفتوح.
- توصيل ثانوي المحول نجمة عند وضعية مأخذ U_n-15%
- ضبط مقاومة الحمل عند وضعية 100%
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح الى وضع ON
- رصد التيار المار في الحمل في هذه الحالة:

تيار الحمل = ... أمبير

- فصل الدائرة من خلال مفتاح مصدر الجهد 3Φ

2.3) حالة قصر 3Φ عند نهاية الخط 3Φ Short circuit at end of transmission line

- تأكد بأن مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF وأن المرحل مضبوط عند القيم المذكورة سابقا.
- أقصر الأوجه الثلاثة عند نهاية خط النقل باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON.
- ارصد تيار الخطأ المار في خط النقل (عملية رصد تيار القصر يجب أن تتم بسرعة قبل أن يفصل القاطع):

تيار القصر 3Φ = ... أمبير

- احسب النسبة بين تيار القصر وتيار الحمل

3.3) حالة قصر بين وجهين عند نهاية الخط L-L short circuit at end of transmission line

- تأكد بان مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF وأن المرحل مضبوط عند القيم المذكورة سابقا.
- أقصر فقط الوجهين A و B عند نهاية خط النقل باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON
- ارصد تيار الخطأ المار في خط النقل (عملية الرصد يجب أن تتم بسرعة قبل أن يفصل القاطع المنظومة عن مصدر التغذية):

تيار القصر بين وجهين عند نهاية الخط = ... أمبير

- احسب النسبة بين تيار القصر بين وجهين وتيار الحمل:

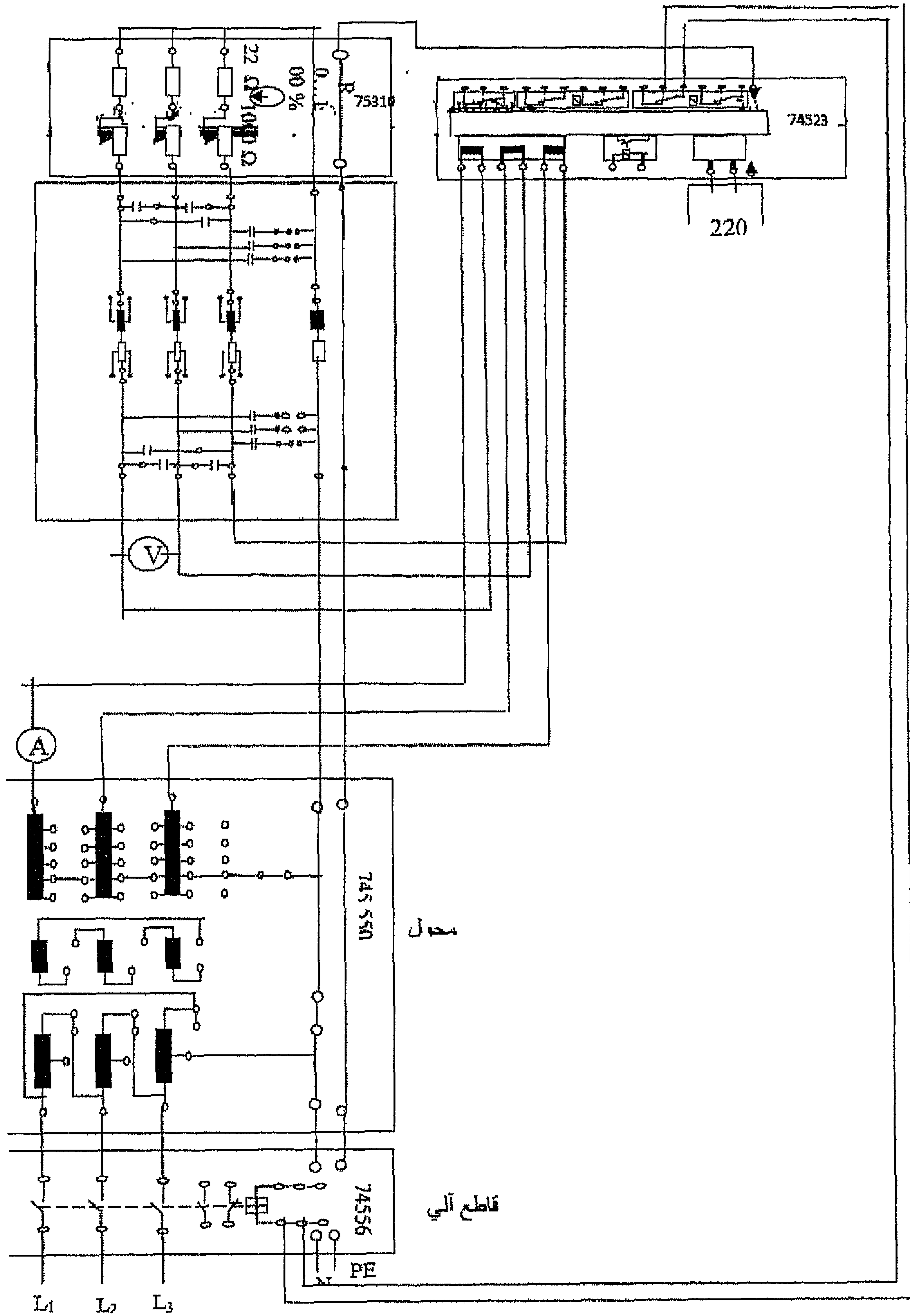
4.3) حالة قصر بين وجهين عند نهاية الخط:

- تأكد بأن مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF
- أقصر فقط الوجهين A و B عند بداية خط النقل باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON
- أرصد تيار القصر في هذه الحالة:

تيار القصر بين وجهين عند بداية الخط = ... أمبير

احسب النسبة بين تيار القصر وتيار الحمل في هذه الحالة.

هل النسبة في هذه الحالة أكبر، أقل أم تساوي النسبة المحسوبة في الخطوط السابقة؟ وضع السبب.



شكل (1)

اختبار حماية خطوط النقل عند حدوث قصر باستخدام مرحل زيادة تيار ذي خصائص عكسية

التجربة 5: اختبار زيادة التيار على منظومة القوى (الجزء الأول)

1) أهداف التجربة

ان نظام الحماية ضد زيادة التيار هو أكثر النظم شيوعا واستخداما في حماية منظومات التوزيع.

تهدف هذه التجربة الى فهم كيفية الحماية عند زيادة التيار على منظومة القوى وذلك بالتطبيق العملي لمرحل زيادة التيار ذو تأخير زمني محدد في وقاية خطوط النقل في الحالات التالية:

- قصر بين ثلاث خطوط متماثلة
- قصر بين خطين

وظيفة المرحل هي مراقبة التيار المار في الأوجه الثلاثة لخط النقل. اذا زاد التيار على القيمة المضبوط عندها المرحل ولفترة زمنية اكبر من زمن التأخير (time relay) فان المرحل يغلق ملامساته ويعطي اشارة الى القاطع الآلي لفصل الخط عن الشبكة.

2) الأجهزة المستخدمة في التجربة

- وحدة قاطع آلي circuit breaker module (cat n 745561)
- محول 3Φ 3Φ transformer (cat n 74550)
- حمل مقاومي 3Φ 3Φ Resistive load (cat n 73310)
- مرحل زيادة تيار ذو تأخير زمني محدود

3Φ Over-current Definite time relay (cat n 75525)

هذا المرحل مزود بطريقة لضبط تيارات الالتقاط للأوجه الثلاثة. المرحل يعمل بعد تأخير زمني معين عندما يزيد التيار في أي من الأوجه عن القيمة المضبوطة (Pick-up current)

تيار الالتقاط يمكن ضبطه بين 0.5 أمبير و 5 أمبير (A 5 → 0.5)

التأخير الزمني يمكن ضبطه بين 0.1 و 10 ثوان (Sec 10 → 0.1)

- أميتر وفولتميتر
- وحدة خط نقل (Transmission Line Module (cat n 74551

مواصفاته ذكرت في التجربة السابقة

في هذه التجربة سيتم توصيل الموديول π بحيث يمثل حالة خط طويل أي: 360 km

$R = 13\ \Omega,\ L = 290\ mH,\ C_B = 5\ \mu F$

3) خطوات التجربة:

1.3) الحالة النظامية:

- توصيل الدائرة كماهو موضح في الشكل (1).
- ضبط المرحل ند تيار التقاط A1 وتأخير زمني مقداره 1Sec والتأكد بأن الملامسات 1 – 2 في وضع مفتوح.
- توصيل الثانوي نجمة عند وضعية مأخذ Un-15%
- ضبط مقاومة الحمل عند وضعية 100٪.
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح الى وضع تشغيل.
- رصد التيار المار في الحمل في هذه الحالة: تيار الحمل = ... أمبير.

- فصل الدائرة من خلال مفتاح مصدر الجهد 3Φ

2.3) حالة قصر 3Φ عند نهاية الخط 3Φ Short circuit at end of transmission line

- تأكد بأن مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF وأن المرحل مضبوط عند القيم المذكورة سابقا.
- أقصر الأوجه الثلاثة عند نهاية خط النقل باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON
- ارصد تيار الخطأ المار في خط النقل (عملية رصد تيار القصر يجب أن تتم بسرعة قبل أن يفصل القاطع):

تيار القصر 3Φ = ... أمبير

- احسب النسبة بين تيار القصر وتيار الحمل

3.3) حالة قصر بين وجهين عند نهاية الخط L-L short circuit at end of transmission line

- تأكد بأن مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF وأن المرحل مضبوط عند القيم المذكورة سابقا.
- اقصر فقط الوجهين A وB عند نهاية خط النقل باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON
- ارصد تيار الخطأ المار في خط النقل (عملية الرصد يجب أن تتم بسرعة قبل أن يفصل القاطع المنظومة عن مصدر التغذية):

تيار القصر بين وجهين عند نهاية الخط = ... أمبير

- احسب النسبة بين تيار القصر بين وجهين وتيار الحمل

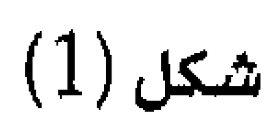
4.3) حالة قصر بين وجهين عند بداية الخط:

- تأكد بأن مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF
- اقصر فقط الوجهين A و B عند بداية خط النقل باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON
- ارصد تيار القصر في هذه الحالة:

تيار القصر بين وجهين عند بداية الخط = ... أمبير

- احسب النسبة بين تيار القصر وتيار الحمل في هذه الحالة.

هل النسبة في هذه الحالة أكبر، أقل أم تساوي النسبة المحسوبة في الخطوط السابقة؟ وضح



شكل (1)

اختبار حماية خطوط النقل عند حدوث قصر باستخدام مرحل زيادة تيار ذو زمن تأخير محدود

التجربة 6: الآلات التزامنية

اختبار زيادة التيار على منظومة القوى (الجزء الثاني)

1) أهداف التجربة:

نواصل في هذه التجربة اختبار زيادة التيار على منظومة القوى وكيفية وقاية المنظومة باستخدام مرحل زيادة التيار وذلك في الحالات التالية:

- قصر بين الخط والأرض.
- حمل زائد.

2) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

- وحدة قاطع آلي circuit breaker module (cat n 745561)
- محول 3Φ transformer (cat n 74550) 3Φ
- حمل مقاومي 3Φ Resistive load (cat n 73310) 3Φ
- مرحل زيادة تيار ذو تأخير زمني محدود

3Φ Over-current Definite time relay (cat n 75525)

- أميتر و فولتميتر
- وحدة خط نقل Transmission Line Module (cat n 74551)

مواصفات هذه الأجهزة ذكرت كلها في التجربة السابقة.

في هذه التجربة سيتم توصيل الموديول π بحيث يمثل حالة خط طويل 360 km أي:

$R = 13\ \Omega,\ L = 290\ mH,\ C_B = 5\ \mu F$

3) خطوات التجربة:

1.3) الحالة النظامية

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح في الشكل (1)
- ضبط المرحل عند تيار التقاط 1A تأخير زمني 1 sec والتأكد بأن الملامسات 2 – 1 في وضع مفتوح
- توصيل ثانوي المحول نجمة عند وضعية مأخذ U_n-15% ضبط مقاومة الحمل عند وضعية 100٪
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح الى وضع ON
- رصد التيار المار في الحمل في هذه الحالة:

تيار الحمل = ... أمبير

- فصل الدائرة من خلال مفتاح مصدر الجهد 3Φ

2.3) حالة قصر بين خط والأرض عند نهاية الخط

1Φ earth short circuit at end of transmission line

- تأكد بأن مصدرا لجهد 3Φ في وضع OFF وأن المرحل مضبوط عند القيم المذكورة سابقا
- اقصر فقط الوجه A مع الأرض عند نهاية خط النقل.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON
- ارصد تيار الخطأ المار في خط النقل:

تيار القصر بين خط والأرض = ... أمبير

- احسب النسبة بين تيار القصر وتيار الحمل

3.3) حالة زيادة الحمل على الخط

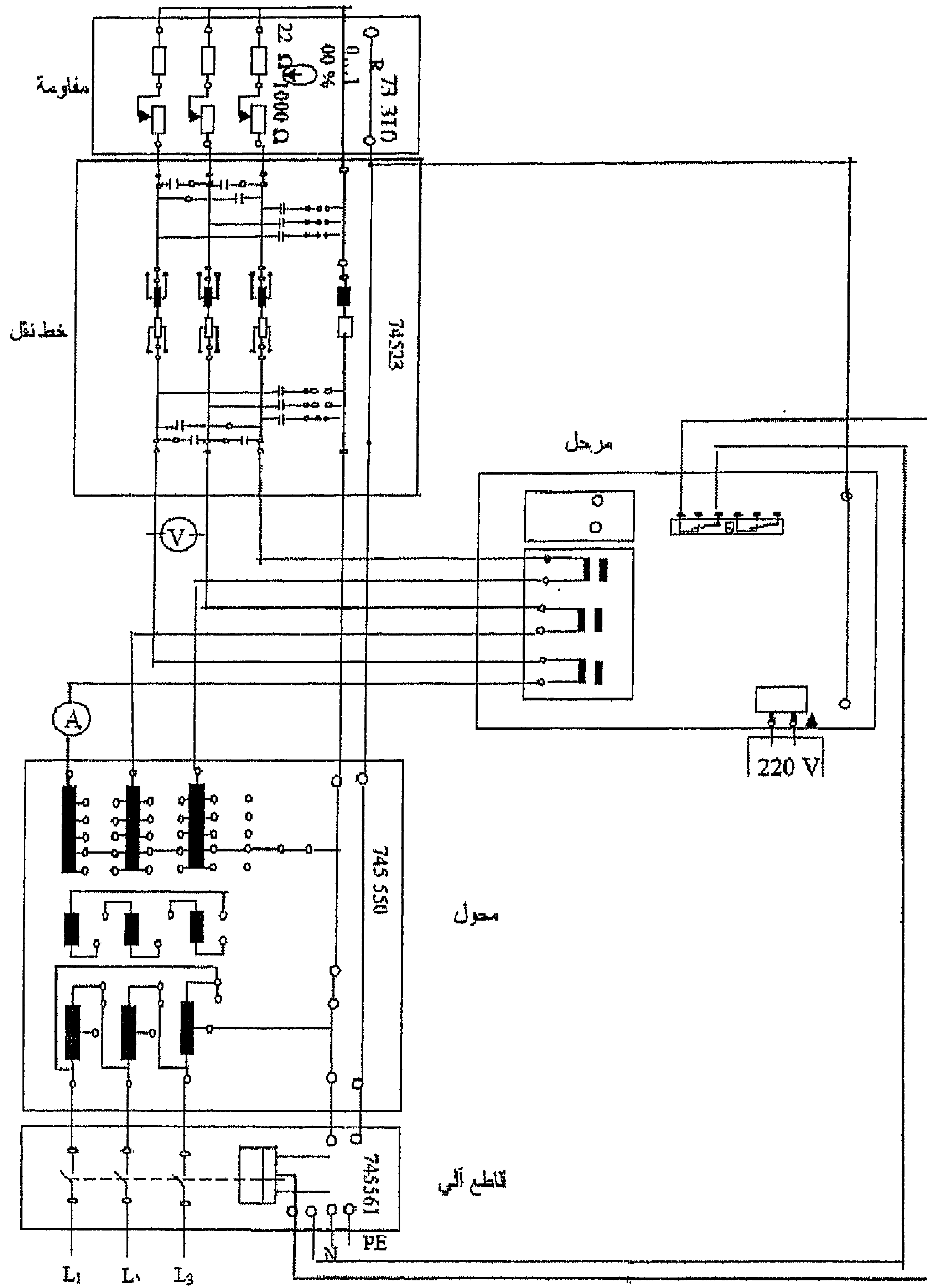
- تأكد بأن المصدر 3Φ في وضع OFF
- وصل التجربة تماما كما هو موضح في الشكل (1)
- اضبط المرحل عند تأخير زمني 5 Sec بدلا من 1 Sec
- تأكد من أن المقاومة مضبوطة عند وضعية 100٪
- وصل مصدر الجهد من خلال تغيير المفتاح الى وضع ON
- اخفض المقاومة 3Φ الى وضعية 90٪ وتأكد أن المرحل يعمل بعد 5 ثوان
- أعد التجربة للحالتين التاليتين:

- تخفيض المقاومة 3Φ الى وضعية 80٪
- تخفيض المقاومة 3Φ الى وضعية 70٪

هل يتغير زمن عمل المرحل؟

4.3) حالة زيادة حمل لحظية على الخط

- تأكد بأن مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF
- وصل التجربة تماما كما هو موضح في الشكل (1)
- اضبط المرحل عند تأخير زمني 2 Sec بدلا من 5 Sec
- تأكد من أن المقاومة مضبوطة عند وضعية 100٪
- وصل مصدر الجهد من خلال تغيير المفتاح الى وضع ON
- اخفض المقاومة 3Φ الى وضعية 0٪ وبأقصى سرعة ممكنة ثم ارجعها ثانية وبسرعة الى الوضعية 100٪. المرحل يجب أن لا يعمل في هذه الحالة.



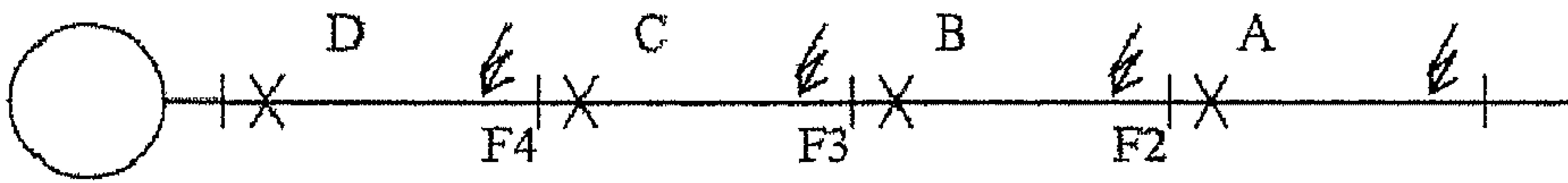
شكل (1): اختبار حماية خطوط النقل عند حدوث قصر باستخدام مرحل زيادة تيار ذو زمن تأخير محدود

التجربة 7: اختبار الحماية التفاضلية

1) مقدمة:

ان استخدام مرحلات زيادة التيار لايفي بجميع الشروط الوقائية اللازمة في منظومات القدرة الكهربائية. ذلك أن التنسيق بين مرحلات زيادة التيار (باستخدام التدرج الزمني) المتصلة على التوالي يؤدي الى زيادة زمن الفصل كلما اقترب موضع الخطأ من مصدر التغذية أي كلما ازدادت قيمة تيار القصر، وهذه خاصية غير مرغوب في خط الحماية حيث أنه من المفروض أن يقل زمن الفصل كلما اقترب الخطأ من مصدر التغذية (الشكل 1).

اعتبر منظومة القوى المبينة في الشكل. المطلوب التنسيق بين المرحلات الأربعة A, B, C, D باستخدام التدرج الزمني وذلك للحصول على التنسيق الصحيح. يمكن الوصول الى التنسيق المطلوب عن طريق اعطاء كل مرحل تأخيرا زمنيا محددا بحيث يكون أسرع المرحلات في العمل هو أبعدها عن المصدر (المرحل A). ويسمح عادة بفترة زمنية حوالي 0.3 – 0.4 sec بين زمن تشغيل كل مرحل والذي يليه.



الشكل (1)

عند حصول خطأ عند F_1 يعمل المرحل A مثلا بعد 0.2 ثانية فيعزل الخطأ ولايعمل باقي المرحلات.

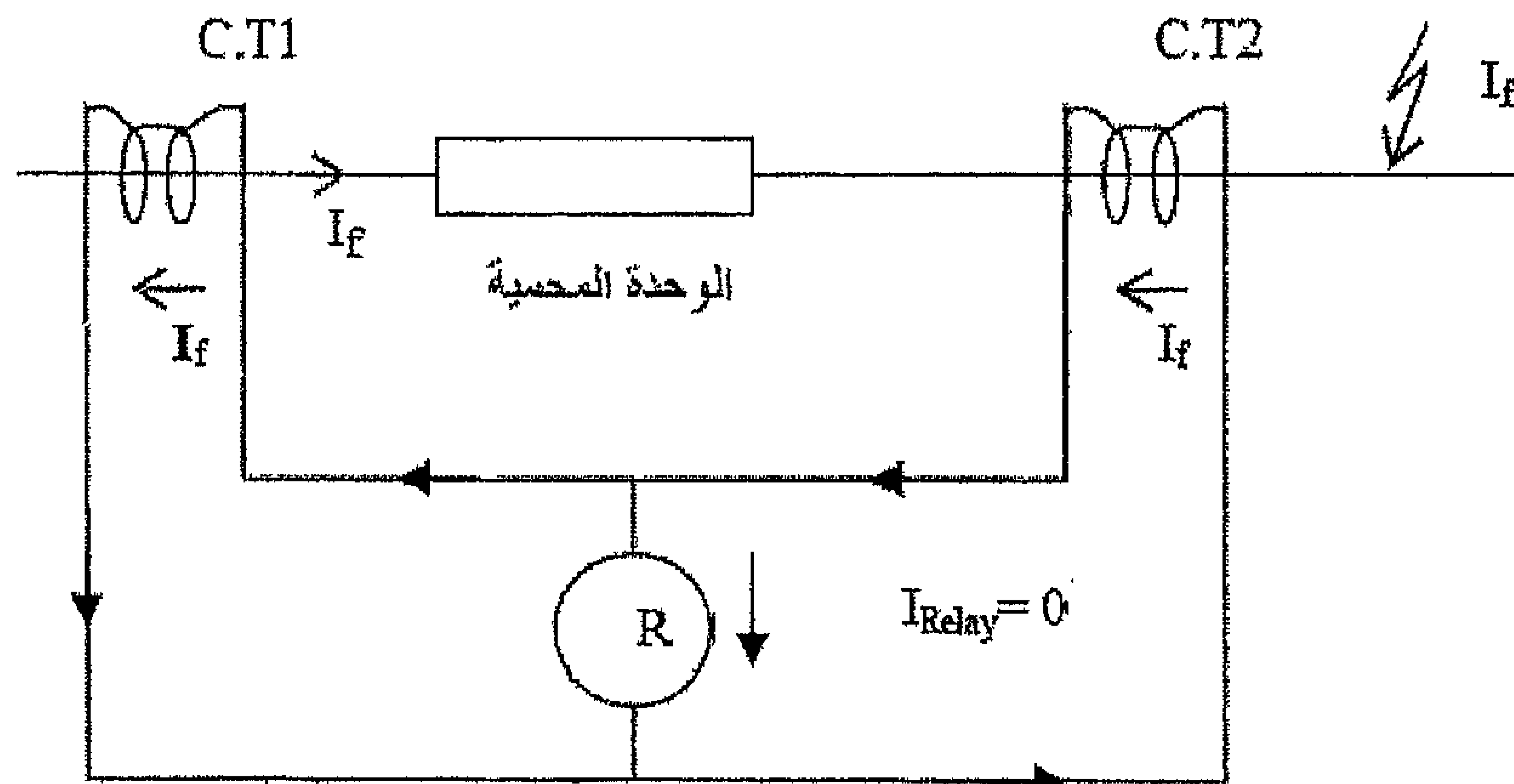
بالمثل عند حصول خطأ عند F_2 يعمل المرحل B بعد 0.6 ثوان مثلا وهكذا دواليك. والغاية من هذا التدرج هو فصل الجزء الذي ينشأ به الخطأ عن مصدر

التغذية ومواصلة تغذية الأجزاء السليمة. لكن هذا التدرج يؤدي الى زيادة زمن الفصل كلما اقترب موضع الخطأ من مصدر التغذية.

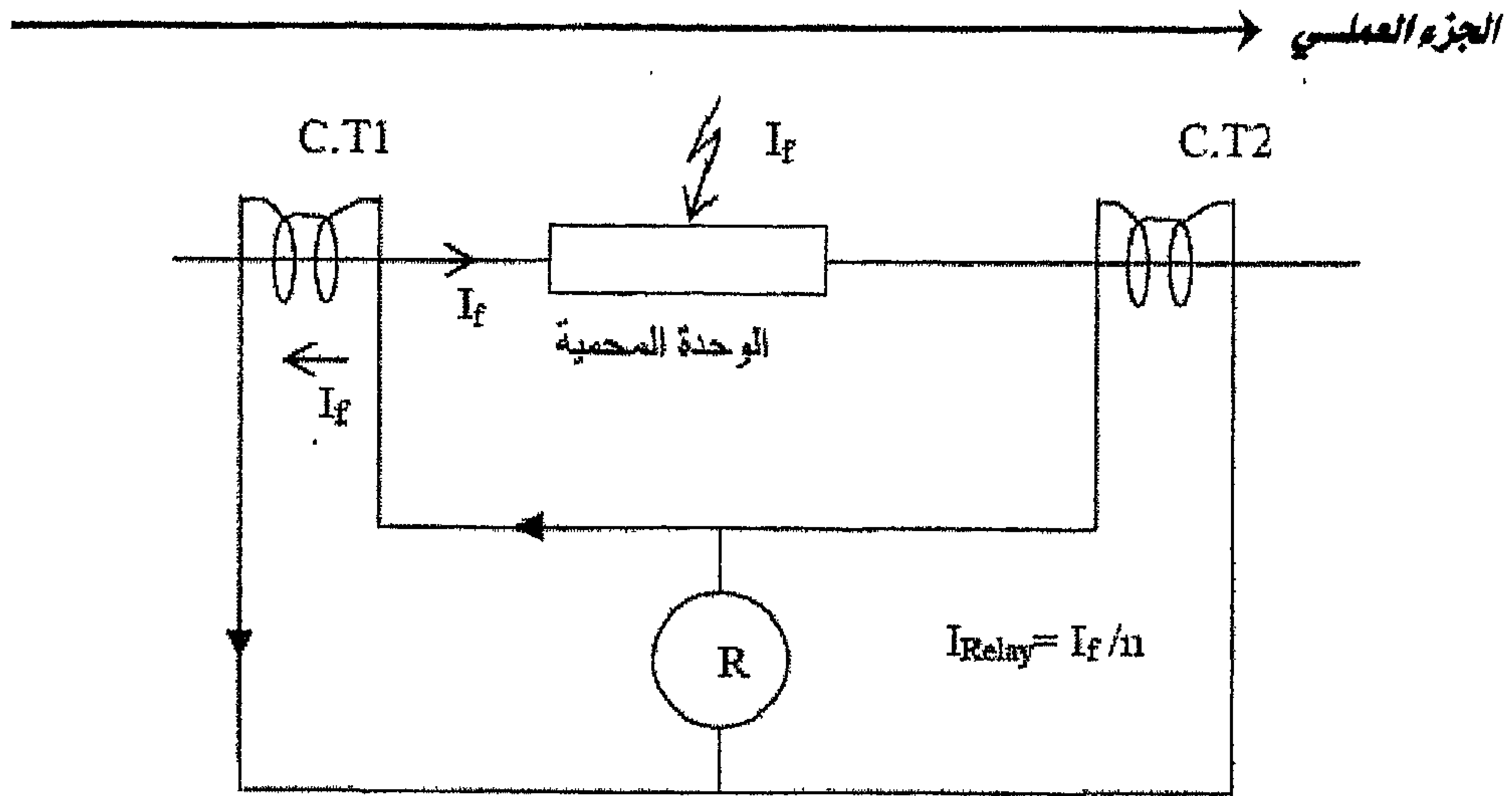
ان هذا قد يشكل خطرا على محطات التوليد والتحويل بالاضافة الى التأثير المباشر على اتزان الشبكة.

لذلك فان طريقة حماية الوحدة أو الحماية التفاضلية Differential protection تستخدم لحماية المولدات والمحولات والمحركات الكهربائية وقضبان الربط Bus bars وكذلك خطوط النقل الكهربائي.

نظرية عمل المرحلات التفاضلية تعتمد على مبدأ Merz-Price. ببساطة، اذا كان التيار الداخل الى الوحدة المحمية يساوي التيار الخارج منها فان هذا يعني عدم وجود عطل في المنطقة المحمية والحماية لا تعمل. من ناحية أخرى، فان وجود فرق بين التيار الداخل الى الوحدة المحمية والخارج منها يدل على وجود عطل والحماية في هذه الحالة تعمل لفصل تيار العطل بأسرع مايمكن. شكل (2) و (3).



شكل (2) حماية تفاضلية لخطأ خارج منطقة الحماية، والحماية يجب ان لاتعمل



شكل (3)؛ استخدام حماية تفاضلية لخطأ داخل المنطقة المحمية، المرحل يجب ان يعمل

2) أهداف التجربة

الهدف من هذه التجربة هو فهم كيفية عمل الحماية التفاضلية من خلال تجربة على محول كهربائي أحادي الوجه.

3) الأجهزة المستخدمة

- وحدة قاطع آلي circuit breaker module (cat n 74556)
- محول 1Φ: 220/200 V, 200 VA
- حمل مقاومي 3Φ

3Φ Resistive load (cat n 73310)

- مرحل زيادة تيار أحادي الوجه ذو تأخير زمني محدود

1Φ Over-current definite time relay (cat n° 745291)

هذا المرحل مزود بطريقة لضبط تيار الالتقاط. المرحل يعمل بعد تأخير زمني معين عندما يزيد التيار في (Pick-up current) عن القيمة المضبوطة

تيار الالتقاط يمكن ضبطه بين 0.2 امبير و 5 أمبير (0.5 → 5 A)

التأخير الزمني يمكن ضبطه بين 0.1 و 10 ثوان (0.1 → 10 Sec)

- أميتر عدد 2
- عدد 2 محول تيار احادي الوجه (current transformer (cat N° 74510 1Φ

محول تيار 1Φ بالمواصفات التالية: مقنن تيار الابتدائي 5A ومقنن تيار الثانوي 1A. المحول مزود بمأخذ Tap يمكن من خلاله تغيير نسبة تحويل محول التيار. باستخدام الأطراف 1.2 – 1.1 ناحية الابتدائي نحصل على نسبة تحويل 1:1، بينما توصيل الأطراف 1.3 – 1.2 يعطي نسبة تحويل 5:1

ملحوظة: يجب أن يكون المحولان متماثلين بأكبر قدر ممكن.

4) خطوات التجربة:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (3)
- ضبط المرحل عند تيار التقاط 0.2 A وتأخير زمني 1 Sec.
- ضبط مقاومة الحمل عند وضعية 100٪.
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح إلى وضع ON.
- ضبط محول التيار عند نسبة تحويل 1:1 باستخدام الأطراف 1.2 – 1.1 ناحية الابتدائي.

1.4) حالة خطأ خارج منطقة الحماية:

- غير المقاومة بحيث يكون التيار في الحمل (أي التيار الخارج من المنطقة المحمية)

$I_2 = 2\ A$

- ارصد التيار الداخل الى المنطقة المحمية:

$I_1 = \ldots\ldots\ A$

- لاحظ أن المرحل لا يشتغل ولا يتم فصل المنطقة المحمية.

2.4) حالة خطأ خارج منطقة الحماية:

- غير المقاومة بحيث يكون التيار في الحمل (أي التيار الخارج من المنطقة المحمية)

$I_2 = 2\ A$

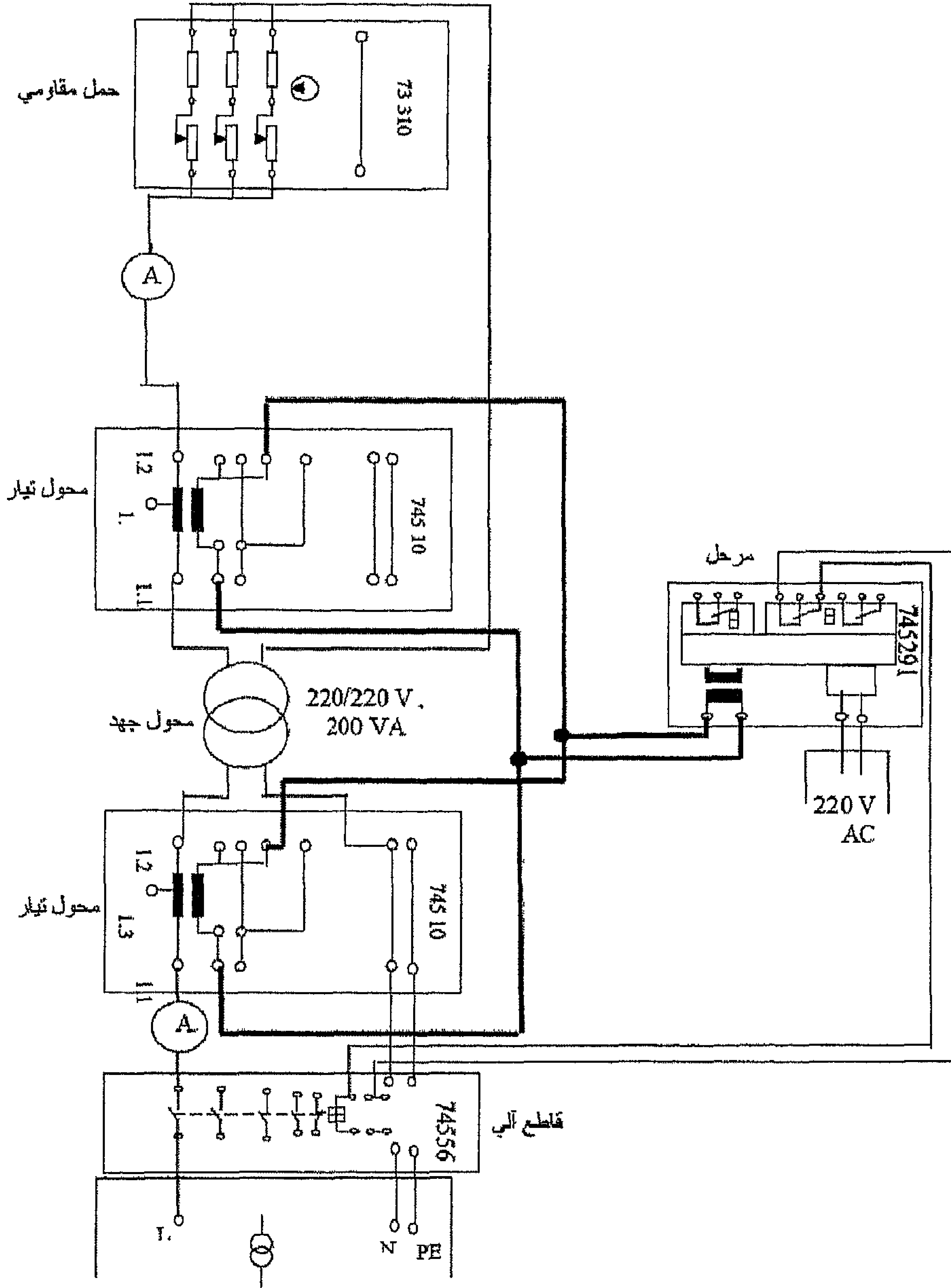
- ارصد التيار الداخل إلى المنطقة المحمية.

$I_1 = \ldots\ldots\ldots A$

- لاحظ أن المرحل لا يشتغل ولا يتم فصل المنطقة المحمية.

3.4) حالة خطأداخل المنطقة المحمية:

- التأكد بأن مصدر الجهد في وضع off وان المرحل مضبوط عند القيم المذكورة سابقا
- قصر ثانوي المحول باستعمال أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع التشغيل.
- رصد بسرعة التيار الداخل الى المنطقة المحمية $I_1=$ ....A
- رصد بسرعة التيار الخارج من المنطقة المحمية $I_2=$....................A
- لاحظ أن المرحل يعمل ويفصل المنطقة المحمية.



شكل (4): اختبار الحماية التفاضلية

التجربة 8: حماية وحدة التوليد (الجزء الأول)

1) مقدمة: حماية ملفات العضو الثابت بواسطة مرحل الخطأ الأرضي

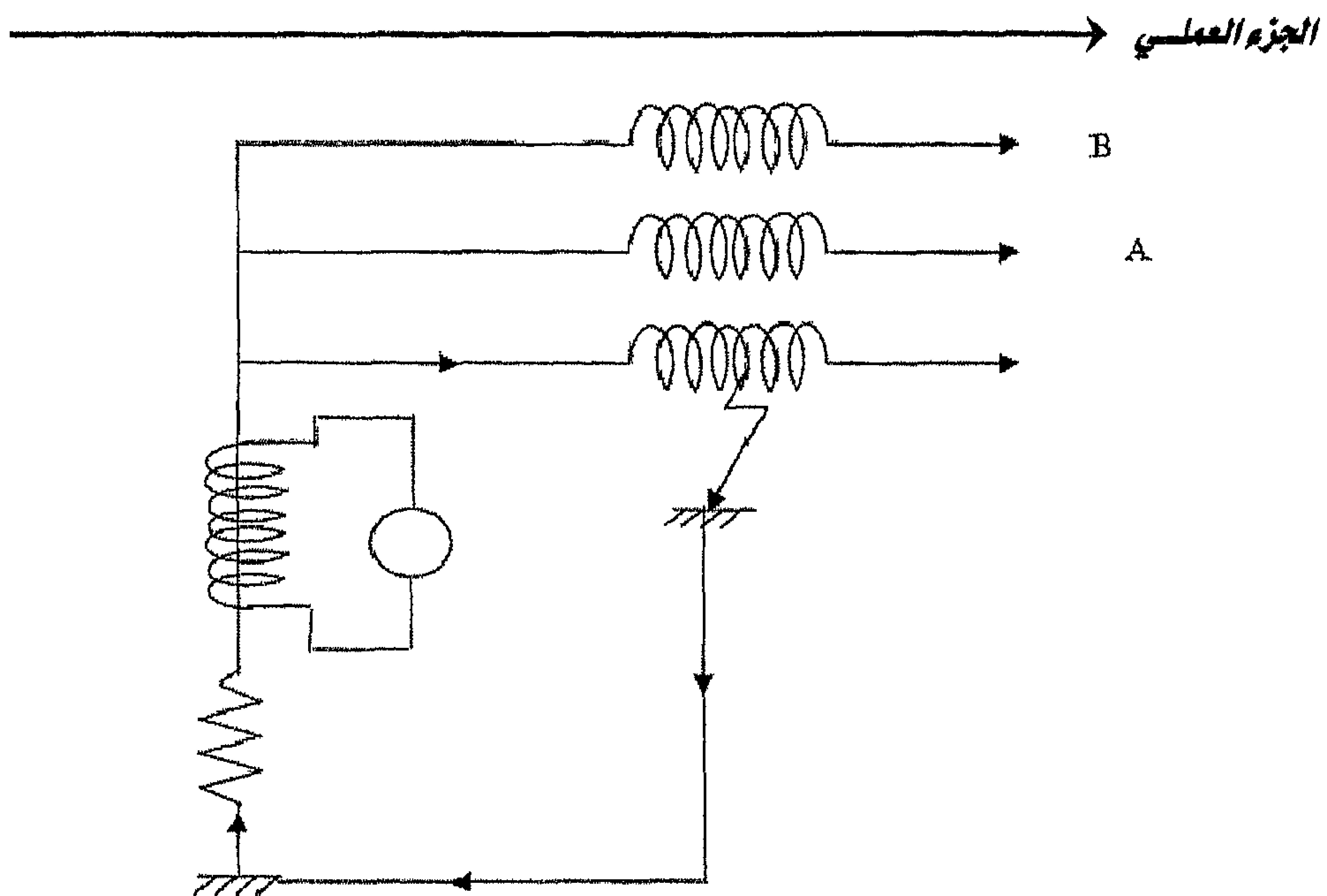
Static Protection by earth fault relays.

عملية تارض حيادي ملفات العضو المنتج هي عملية مألوفة في جميع المولدات الكهربائية وذلك لضمان مسار تيار الأرضي وتسهيل عملية كشف هذا النوع من الأعطال.

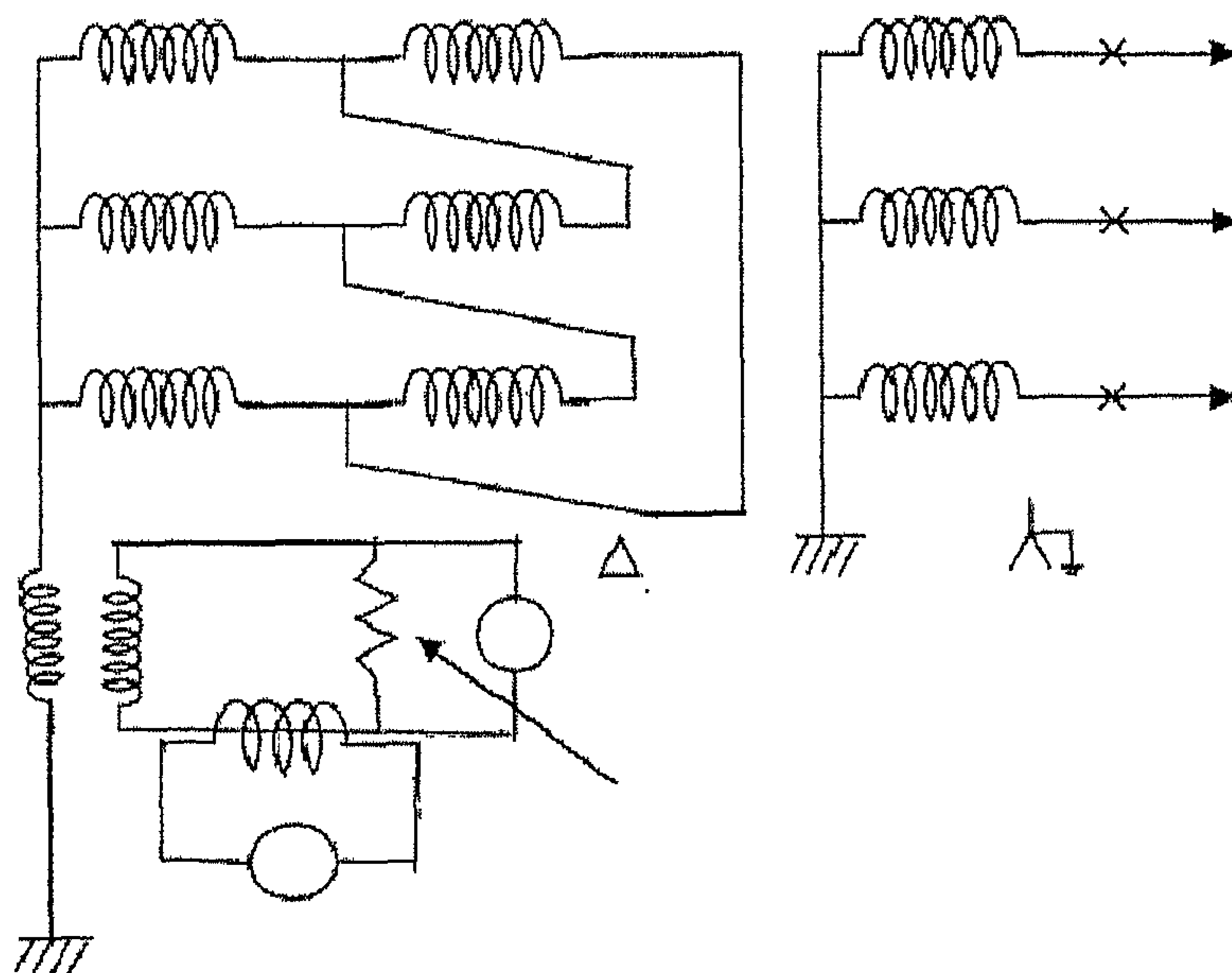
في المولدات الصغيرة أو المتوسطة الحجم تتم عملية التأريض من خلال مقاومة عالية. الهدف من وجود هذه المقاومة هو خفض تيار الخطأ الأرضي الى قيمة مساوية للتيار المقنن للمولد. يتم توصيل محول التيار C.T في دائرة الأرضي لمراقبة وقياس تيار الخطأ. ملفات الثانوي لمحول التيار توصل الى مرحل زيادة التيار ذو الخصائص العكسية كما هو موضح في الشكل رقم (1).

أما بالنسبة للمولدات الكبيرة التي يتم ربطها بالشبكة من خلال محول رفع جهد، فان تأريضها يتم من خلال محول جهد voltage transformer. مقنن محول الجهد يتراوح بين 5 و 10 KVA وجهد الثانوي يتراوح بين 100 و 500 V. مقاومة التأريض نفسها يتم توصيلها على أطراف ملفات الثانوي لمحول الجهد، وقيمتها تتراوح بين 100 و200 Ω يتم اختيار مقاومة التأريض بحيث لا يزيد تيار القصر الأرضي المار في ملفات العضو المنتج عن 10A.

أما بالنسبة لمرحل الحماية فان يكون في هذه الحالة مرحل زيادة الجهد حيث يتم توصيله على التوازي مع مقاومة التأريض. يتم ضبط هذا المرحل عادة عند جهد التقاط قيمته حوالي 10V. شكل رقم (2) يبين هذا النوع من الحماية.



شكل رقم (1): حماية المولدات الصغيرة أو المتوسطة الحجم ضد القصر الأرضي



شكل (2) حماية المولدات ذات القدرات الكبيرة من القصر الارضي

2) هدف التجربة

الهدف من هذه التجربة هو فهم كيفية حماية وحدة التوليد عند حدوث اتصال أحد أطراف العضو الثابت للمولد بالأرض.

3) الأجهزة المستعملة

- مصدر تغذية ثلاثي الأوجه ذو جهد متغير Variable 3Φ Power Supply
- مصدر جهد متغير 3x(0-380V) مقنن تياره 7A مزود بثلاثة قواطع حرارية Thermal relays مقنن تيار كل منها 6.5A.
- محول جهد ثلاثي الأوجه 3Φ voltage transformer (cat N° 74516)

يتكون هذا المحول من ثلاثة محولات أحادي الوجه. مواصفات المحولات مطابقة لمواصفات محول الجهد (cat N° 74514). المحول (cat No 74514) مصمم للعمل عند جهد ابتدائي 220V بين الأطراف 1.2 – 1.1، أما الثانوي فانه مزود بملفين. الجهد المقنن بين الأطراف 2.2 – 2.1 هو $57.7V = \frac{100}{\sqrt{3}}$ وبين الأطراف 3.2 – 3.1 هو $33.3V = \frac{100}{3}$ اي أن نسبة التحويل قد تكون اما 3.8 أو 6.6.

- وحدة قاطع آلي circuit breaker module (cat n 74556)
- محول 3Φ 3Φ transformer (cat n 74550)
- حمل مقاومي 3Φ 3Φ Resistive load (cat n 73310)
- مرحل خطأ أرضي earth fault relay (cat n° 74532)

يوصل المرحل الى النقطتين (e-n) للملف الثانوي للمحول cat n°74516. الجهد المقنن بين الطرفين (e-n) هو $U_N = 100V$.

يمكن ضبط عمل المرحل عند جهد يتراوح بين $0.3\ U_N$ و $0.7\ U_N$

ويمكن ضبط زمن استجابة هذا المرحل من 0.5S الى 5S. اذا انقطع الخطأ قبل زمن الاستجابة المضبوط فان المرحل لايعمل.

ملحوظة هامة: في هذه التجربة نمثل ملفات العضو الثابت للمولد الكهربائي بملفات ثانوي المحول ثلاثي الأوجه (cat n° 745550)

4) خطوات التجربة

1.4) التوصيل الأرضي المباشر

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل التجربة كما هو مبين بالشكل (1)

هام جدا: تأكد أن حيادي المحول ثلاثي الأوجه مفصول عن حيادي محول الجهد وذلك حتى لا ينشأ قصر أرضي على المحول الثلاثي الأوجه، الأمر الذي يمكن أن يؤدي الى اتلافه.

- اضبط القيم التالية على المرحل:

$\frac{U_A}{U_N}=0.6$ $\frac{U_R}{U_A}=0.5$ $t=0.5\ S$

- التأكد بأن المقاومة المتغيرة 3Φ مضبوطة عند القيمة 100٪
- وصل طرف الوجه L_1 بالنقطة c لمحول الجهد (يمثل ذلك قصرا أرضيا).
- أغلق الدائرة من خلال القاطع الآلي.

تبدأ الساعة الالكترونية في العمل وتتوقف حالما يفصل القاطع الدائرة.

- ارصد الزمن الذي تقيسه الساعة الالكترونية.

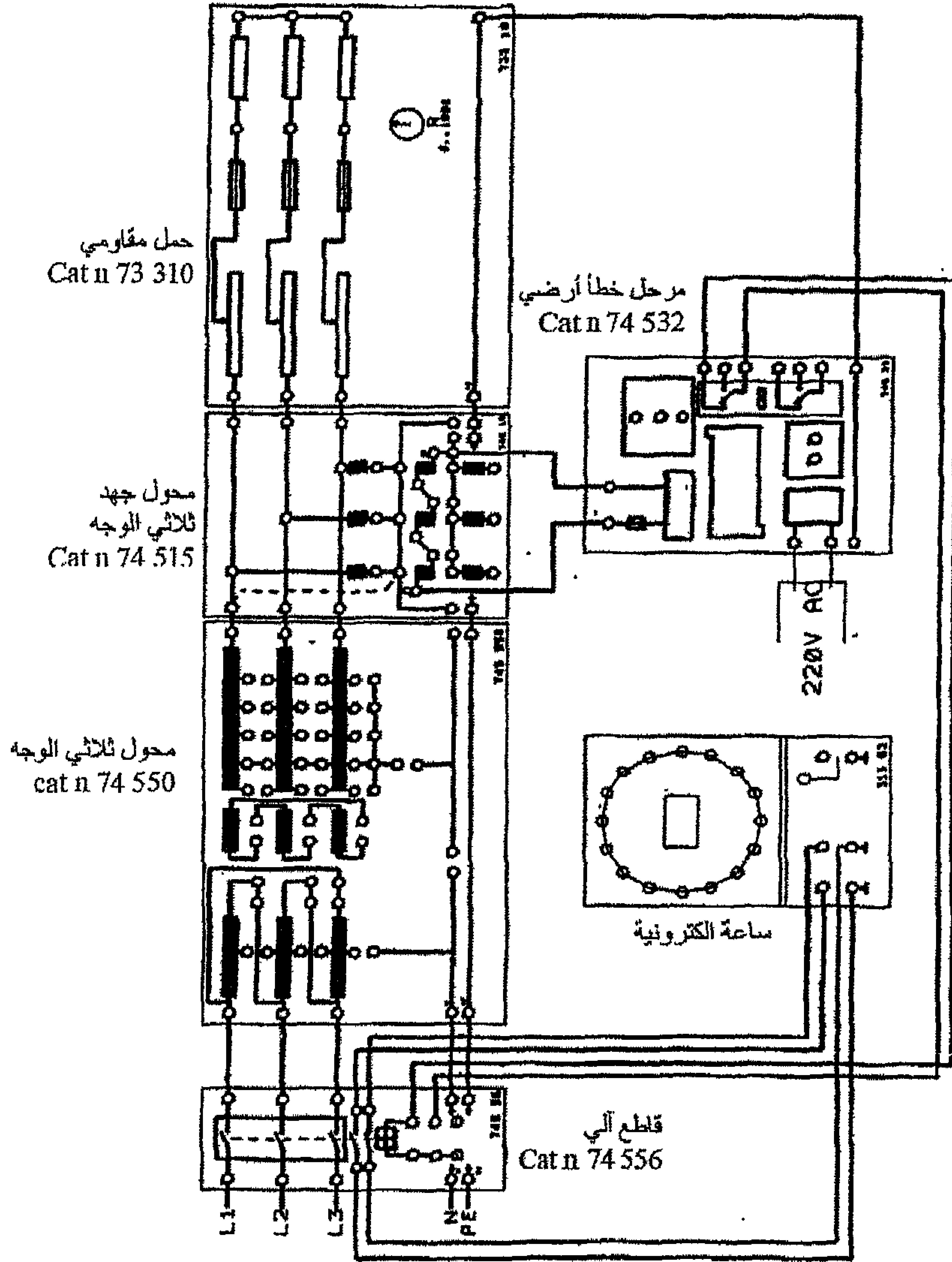
- أعد التجربة عند زمن عمل 1,2,3,4,5 Sec

ودون النتائج في الجدول التالي:

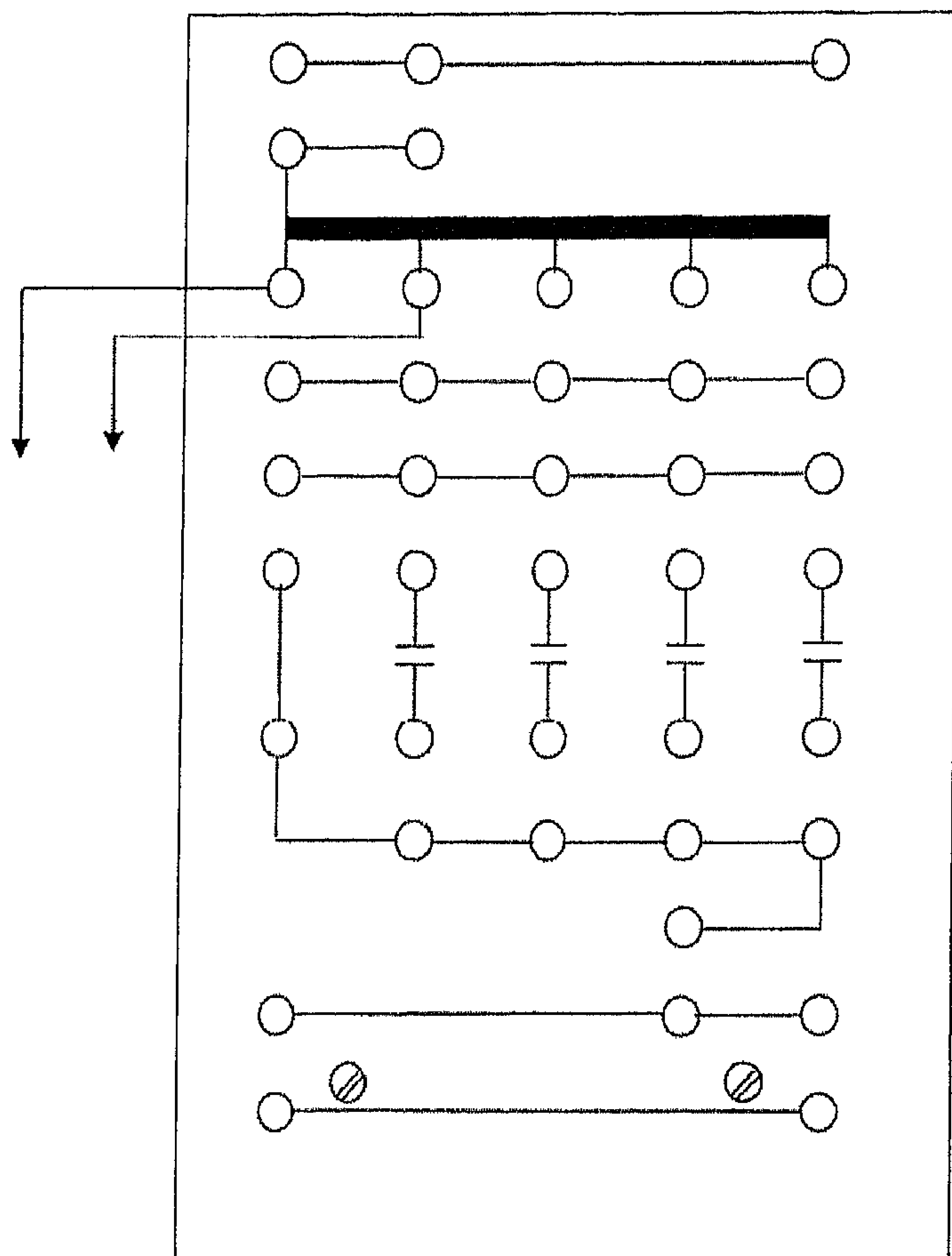
5	4	3	2	1	0.5	الزمن المظبوط على المرحل t set (sec)
						الزمن المقاس في التجربة t measured (sec)

4.2) إضافة معاوقة تأريض

- وصل التجربة كما هو موضح في الشكل السابق مع اختلاف بسيط وهو اضافة معاوقة قيمتها 100Ω بين النقطتين L_1 و e. استخدم لذلك L= 300 mH (حمل LC load cat n° 74531) شكل (2)
- إعادة خطوات التجربة السابقة.



شكل (1): حماية العضو الثابت للمولد بواسطة مرحل الخطأ الأرضي



شكل (2): وحدة معاوقة

التجربة 9: حماية وحدة التوليد (الجزء الثاني)

1) هدف التجربة:

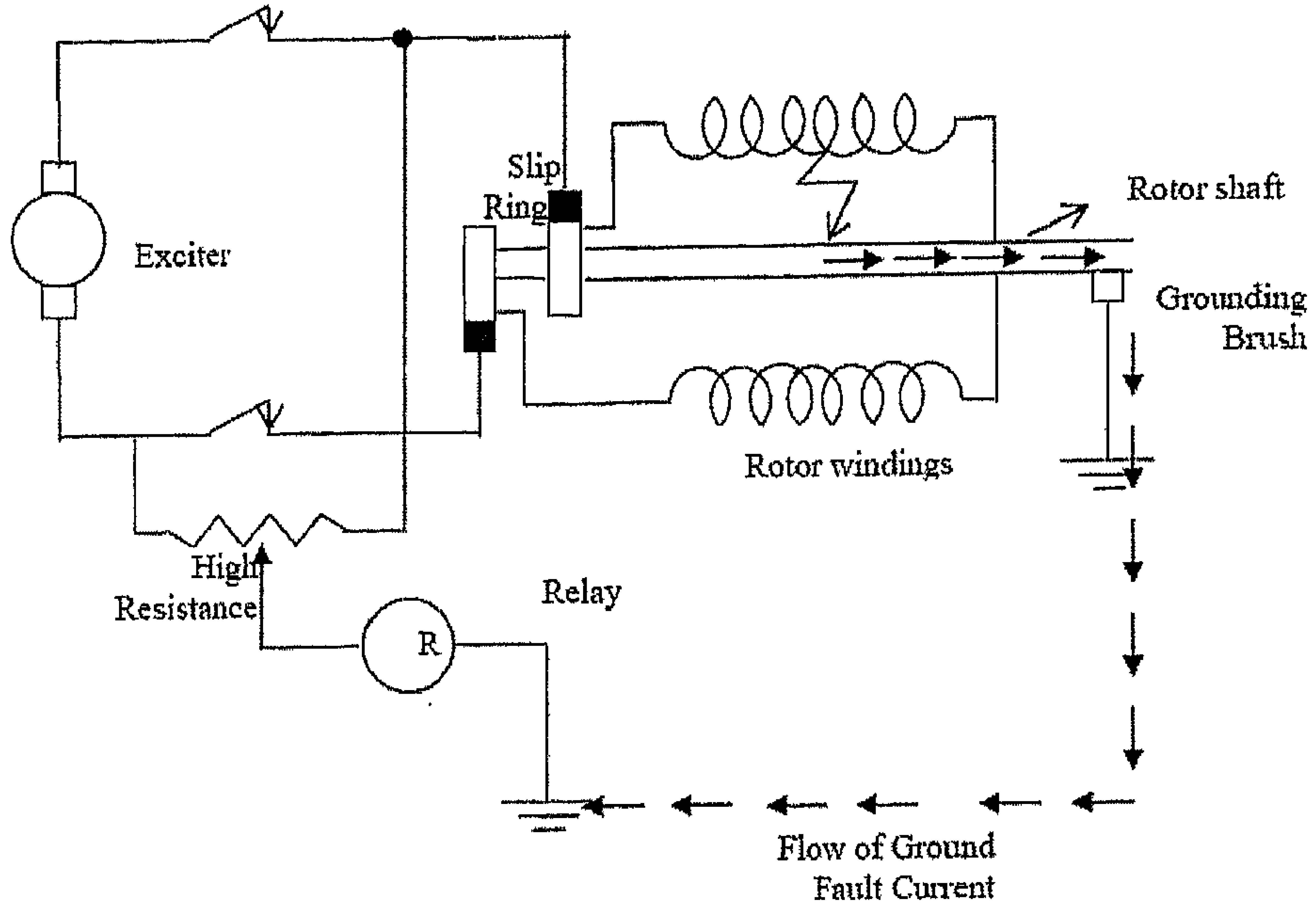
الهدف من هذه التجربة هو فهم كيفية حماية وحدة التوليد عند حدوث قصر بين ملفات العضو الدوار والأرض.

هذا النوع من الأعطال لا يستدعي الفصل الفوري للمولد عن الشبكة وذلك للأسباب التالية:

- العضو الدوار يعمل عادة عند جهد 500 V بينما يعمل العضو المنتج عند جهد يتراوح بين 24 KV و 13.8 KV
- ملفات العضو الدوار غير مؤرضة وبالتالي فان مسار تيار الخطأ الأرضي معدوم في هذه الحالة.

رغم هذا كله، يستحسن رصد هذا النوع من الخطأ وذلك حتى يتسنى للمسؤول عن مراقبة المولد أخذ التدابير اللازمة اما بالتخفيف من حمل المولد أو فصله كليا عن الشبكة ان لزم الأمر.

الشكل التالي (1) يبين كيفية حماية المولد عند حدوث هذا النوع من الأخطاء.



شكل (1): مسرى التيار عند حدوث قصر أرضي في العضو الدوار

يسمح المرحل R بمسرى لتيار الخطأ الأرضي في ملفات العضو الدوار.

2) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

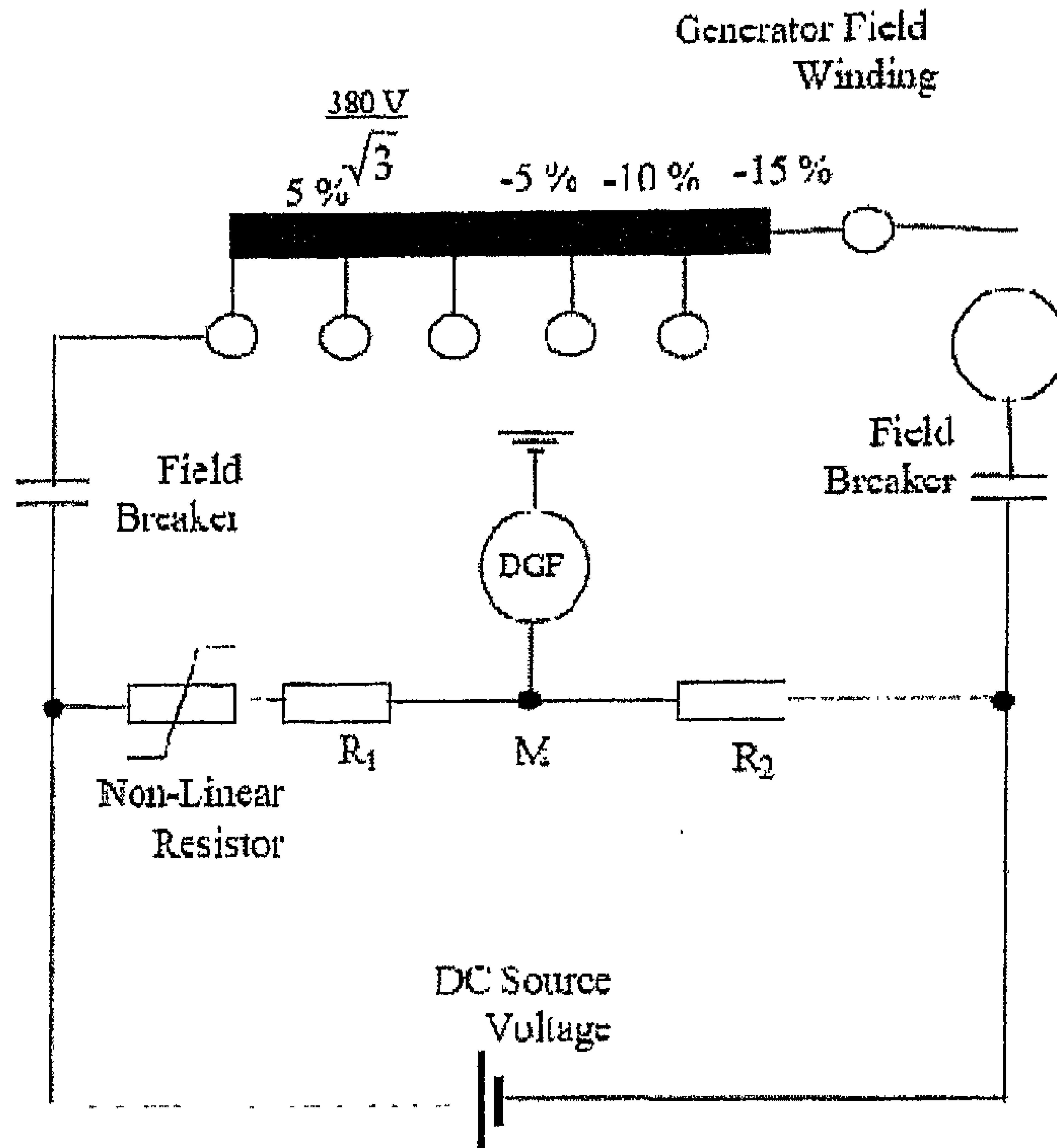
- محول ثلاثي الأوجه (3Φ transformer (cat n° 74550
- مصدر تغذية تيار مستمر متغير 0V → 30V
- أميتر
- قاطع آلي
- مرحل تأريض من نوع DGF يعمل بتيار مستمر
- ساعة ايقاف الكترونية: Electric Start/ Stop watch

3) مراحل التجربة:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- ضبط زمن عمل المرحل عند 1 S
- توصيل التجربة كما هو مبين بالشكل (2)
- التأكد من أن جهد المصدر صفر عند بداية التجربة
- توصيل الملف عند الأخذ UN -15% الى الأرض.
- غلق الدائرة من خلال وضع ON للقاطع الآلي.
- الترفيع تدريجيا في جهد المصدر حتى يصل التيار في الملف 1A
- تأكد أن المرحل يعمل، يفتح القاطع الآلي ملامساته.
- استخدم ساعة الايقاف الالكترونية وقارن بين زمن عمل المرحل والزمن المقاس في التجربة.

ملحوظة: نمثل ملف العضو الدوار بأحد ملفات ثانوي المحول ثلاثي الأوجه. 3Φ transformer (cat N° 74550)



شكل (2): حماية العضو الدوار عند حدوث قصر أرضي

المرحل DGF يستخدم دائرة تقسيم جهد تشمل مقاومتين خطيتين R_1 و R_2 ومقاومة غير خطية تتغير قيمتها مع الجهد الموصل بين طرفيها.

حين يحدث قصر أرضي عند نقطة ما في ملف العضو الدوار (Generator Field Winding) ينشأ فارق جهد بين الأرض والنقطة M. قيمة هذا الجهد تتحدد من خلال نقطة ملف العضو الدوار التي تتصل بالأرض.

أقصى قيمة لهذا الجهد تحصل عندما يكون الاتصال بالأرض عند أحد أطراف ملف العضو الدوار.

التجربة 10: الحماية عند حدوث قصر في الخط الموصل بالمولد (حدوث حالة عدم اتزان)

1) مقدمة:

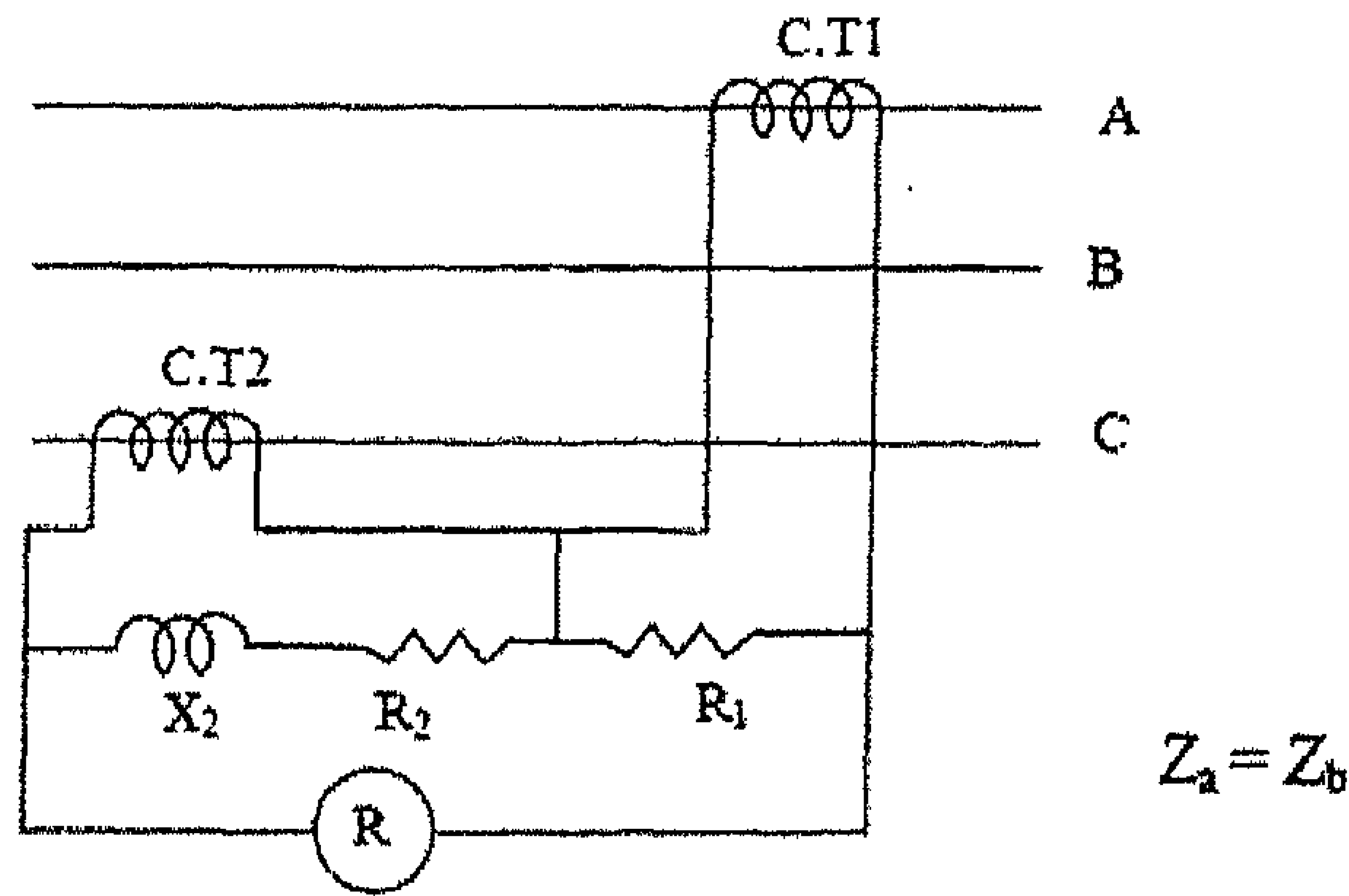
نظرا للأهمية الكبيرة التي تمثلها المولدات في المنظومة الكهربائية فانه لا يقتصر عادة على طريقة واحدة لحمايتها من الأخطار التي يمكن أن تحدث نتيجة الأخطاء العديدة والمتعددة. لذلك فانه كثيرا ما تضاف حماية وقائية تحمي المولد الكهربائي في حالة عدم عمل الحماية الاساسية.

حصول قصر كهربائي بين طورين، على أطراف المولد، يكون سببا مباشرا لوجود عدم توازن في التيارات والجهود المتولدة. عدم التوازن يكون عادة مصحوبا بالتتابعية السالبة

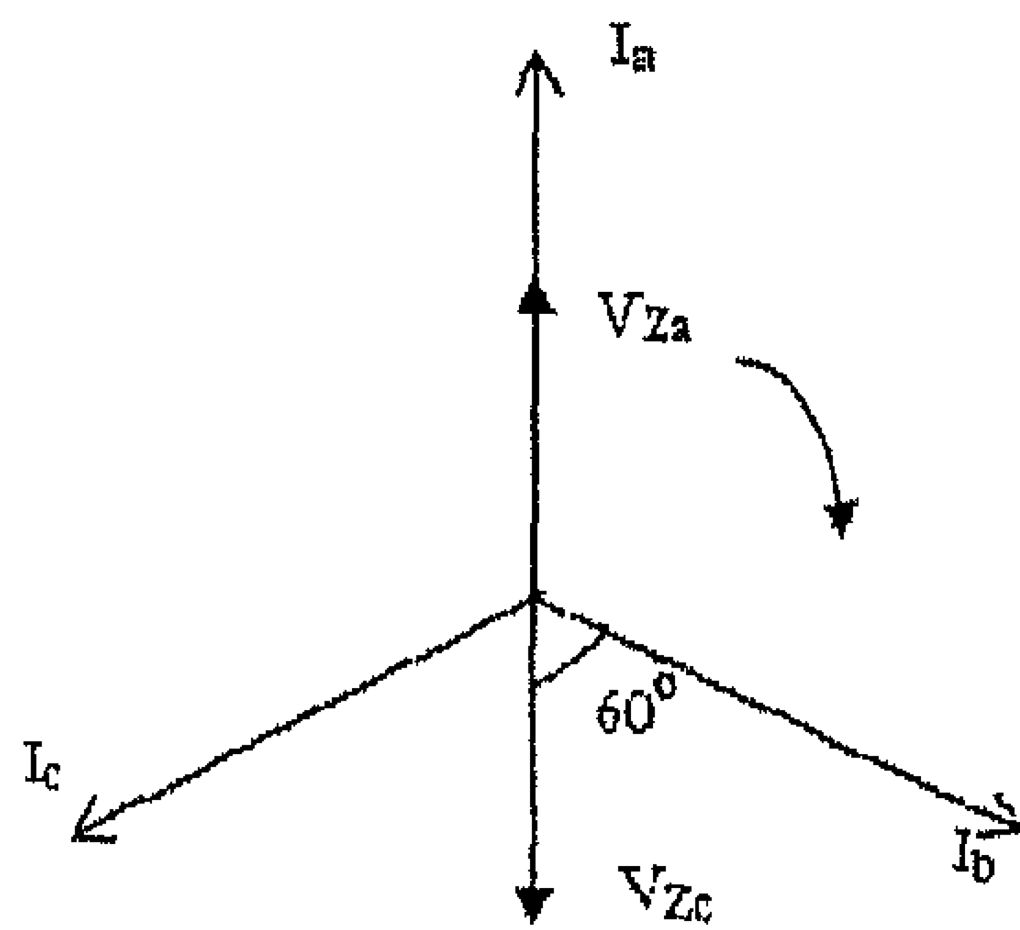
(Negative Sequence) والتتابعية الصفرية (Zero Sequence). في حالة عدم عمل الوقاية الأساسية فان مرحل التتابعية السالبة سيشعر بوجودها ويفصل المولد عن الشبكة. اذن وظيفة مرحل التتابعية السالبة تكون في هذه الحالة، وقاية احتياطية.

حتى لا يساء فهم الموضوع، فان الوظيفة الاساسية لمرحل التتابعية السالبة Negative Sequence Relay هي وقاية العضو الدوار للمولد من فرط الاحماء أو الارتفاع الزائد في درجة الحرارة نتيجة عدم التوازن في الجهود والتيارات. وجود التتابعية السالبة، في هذه الحالة، يكون مرده الى عدم توازن في الحمل الكهربائي على المولد بسبب سوء توزيع الأحمال الكهربائية أحادية الوجه أو انقطاع أحد الاطوار Open Circuit Fault.

أما عن كيفية إحساس المرحل بوجود التتابعية فإن هذا يتم من خلال وضع مرشح في الدائرة، كما هو موضح في الشكل رقم (1)، الدائرة مكونة من محولين للتيار أحدهما لقياس الوجه A والآخر لقياس تيار الوجه C، الحمل الموصل على أطراف ثانوية محول التيار A عبارة عن مقاومة بينما الحمل الموصل على أطراف ثانوية محول التيار C عبارة عن مقاومة وممانعة (قيمة المعاوقة لقيمة مقاومة حمل محول التيار A) بحيث يكون معامل قدرة الحمل مساوية لـ 0.5، أي أن الجهد على أطراف ثانوية محول التيار C يكون متقدما على التيار بزاوية 60^{o}.

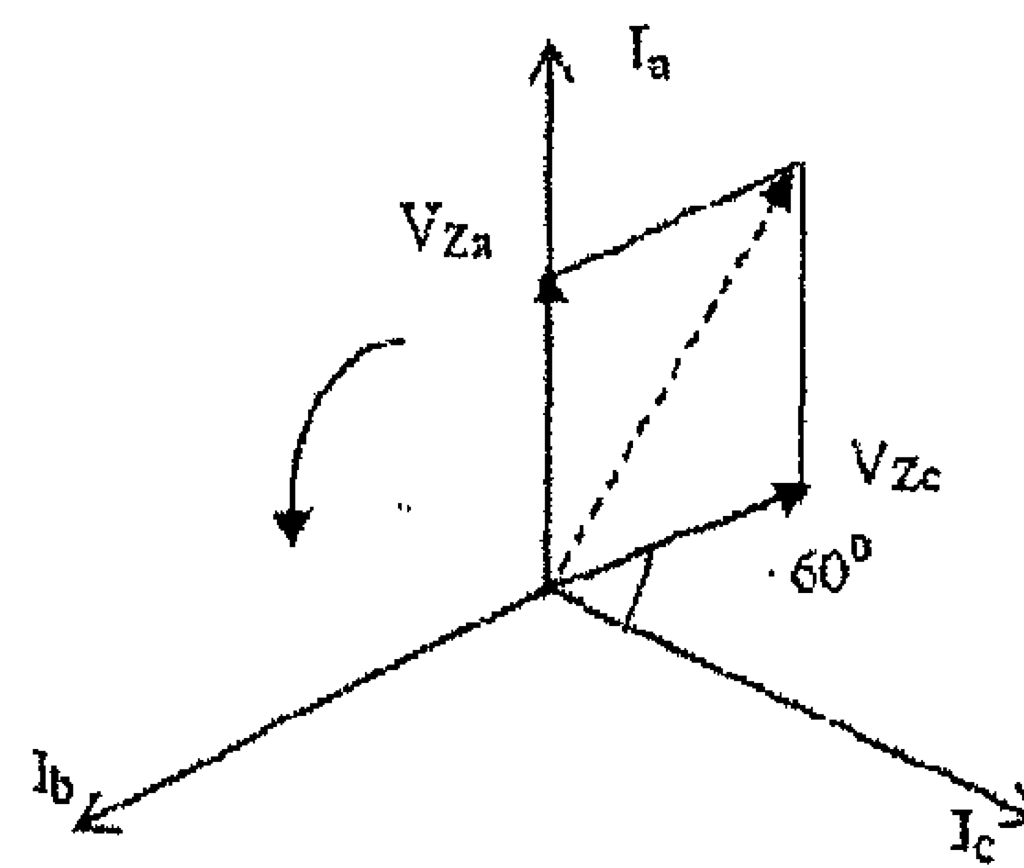


مرحل التتابعية السالبة



التتابعية الموجبة

$\vec{V}_{Za}+\vec{V}_{Zc}=0$



التتابعية السالبة

$\vec{V}_{Za}+\vec{V}_{Zc}\neq 0$

شكل (1) كيفية الحماية عند حدوث حالة عدم اتزان

عندما تكون تيارات المولد متوازية فإن الجهود على أطراف محول التيار A ومحول التيار C تكون متساوية ومضادة في الاتجاه. أي أن الجهد على أطراف المرحل يساوي صفرا. بينما جهود التتابعية السالبة (الناتجة عن عدم توازن في تيارات المولد) تكون متساوية ولكن غير مضادة في الاتجاه. وبالتالي فإن الجهد على أطراف المرحل لا تساوي صفرا والمرحل يعمل في هذه الحالة ويعطي القاطع الآلي الأمر بفصل المولد عن الشبكة.

وتوجد طرق عملية أخرى لرصد التيار عند حالة عدم اتزان وذلك باستخدام محول تيار جمع (انظر التجربة رقم 2 المبينة في الملحق).

2) الهدف من التجربة:

ان الهدف من هذه التجربة هو معرفة كيفية عمل الحماية عند حدوث حالة عدم اتزان على أطوار مولد كهربائي.

3) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

- مصادر تغذية ثلاثي الأوجه ذو جهد متغير Variable 3Φ Power Supply
- أجهزة لقياس التيار عدد 1 1 EA A.C Ammeters
- حمل مقاومي 3Φ مكون من ثلاثة مقاومات متغيرة قيمة كلا منها = R 22 Ω. مقنن التيار لهذه المقاومات 3 A.
- محول تيار جمع 1Summation current transformer cat N° 74530

نسبة تحويل المحول 1 : 2.5 ومقنن تيار الابتدائي 2.5 A

- مرحل زيادة تيار أحادي الوجه ذو تأخير زمني محدود

1Φ Over-current definite time relay (cat n° 745291)

4) مراحل التجربة:

1.4) قياس تيار التتابعية باستخدام محول تيار جمع:

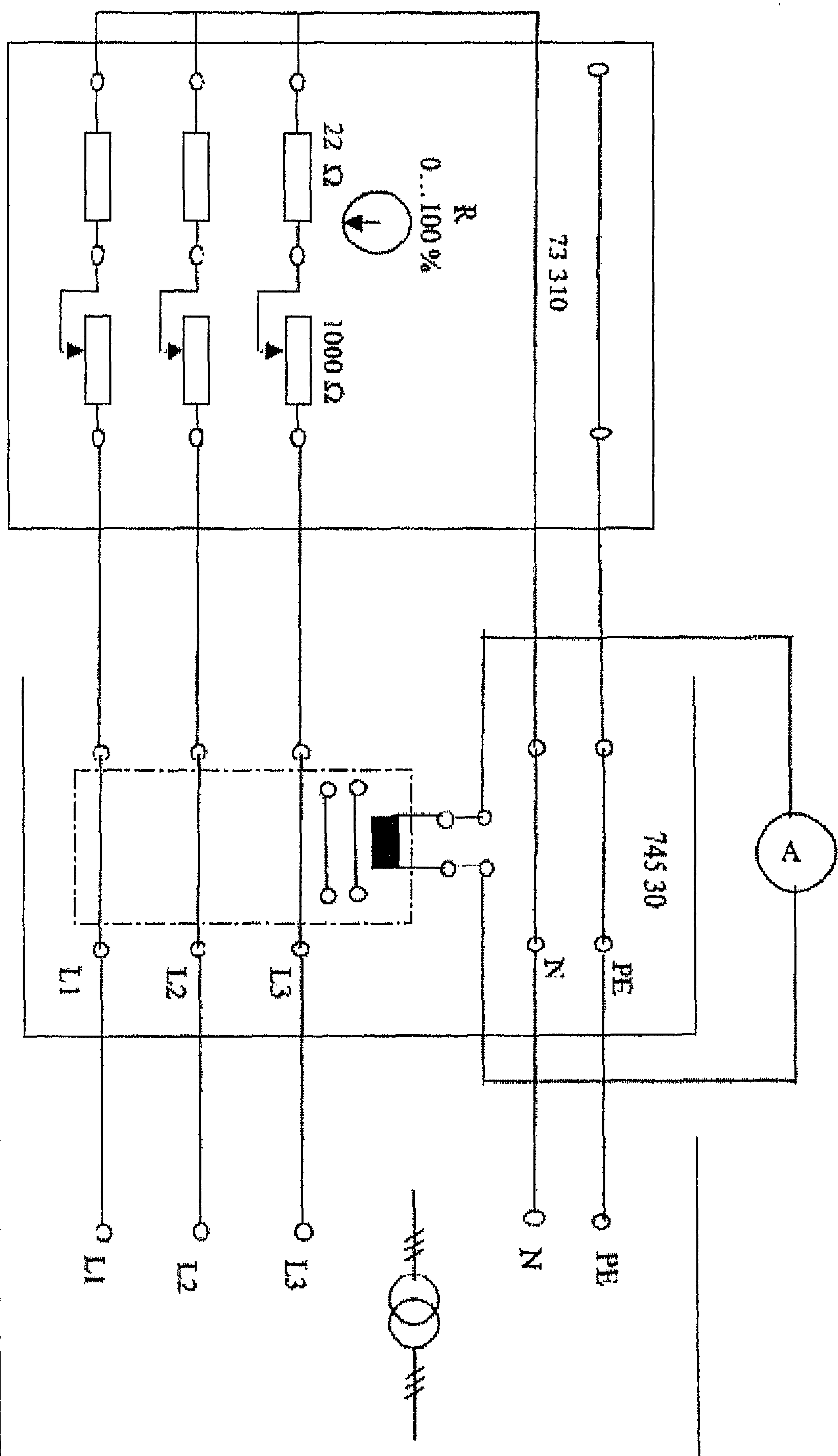
على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1)
- رفع جهد التغذية إلى أقصى قيمة 220 V وملاحظة قراءة الـ Ammeter في دائرة الثانوي عند قيم مختلفة للمقاومة. التيار يجب أن يكون صفراً أو قريبا من الصفر لأن الأحمال متماثلة على الأوجه الثلاثة.
- فصل الموصل L_1 من الدائرة وملاحظة قراءة الـ Ammeter في دائرة الثانوي عند قيم مختلفة للمقاومة. التيار يجب أن لا يكون صفراً لأن الأحمال غير متماثلة.
- رصد قيمة التيار مثلا عندما يكون الحمل المقاومي عند 50٪.

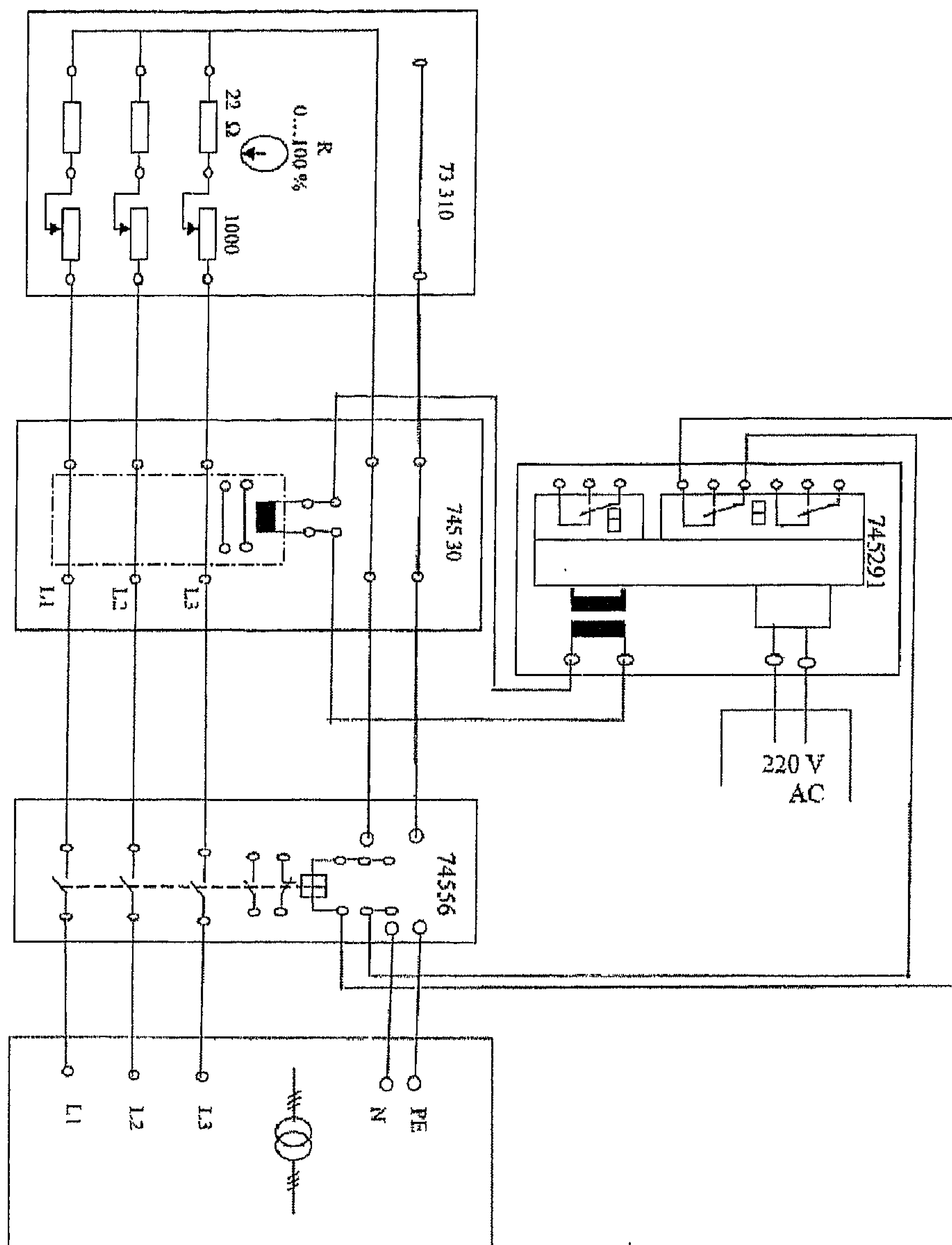
2.4) كيفية الحماية عند حالة عدم اتزان:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (2)
- رفع جهد التغذية إلى أقصى قيمة 220 V.
- ضبط الحمل المقاومي عند 50٪
- ضبط المرحل عند تأخير زمني 2 sec
- ضبط تيار الالتقاط للمرحل عند 1 A مثلا.
- فصل الموصل L_1 من الدائرة. المرحل يجب أن يعمل ويعطي أمراً للقاطع بفتح الدائرة.



شكل (1) قياس التيار عند حدوث حالة عدم اتزان



شكل (2): تجربة عملية للحماية عند حدوث حالة عدم اتزان

التجربة رقم 11: تجربة لحماية وحدة التوليد عند زيادة التيار باستخدام ثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات (الجزء الأول):

1) مقدمة:

يعتبر المولد الكهربائي من أهم عناصر المنظومة الكهربائية التي تتطلب أنواعا مختلفة من الحمايات حيث تخصص له حماية ضد تيارات القصر وحماية ضد الحمل الزائد وحماية ضد انخفاض الجهد وأخرى ضد ارتفاع الجهد وحماية ضد انعكاس القدرة وحماية ضد تغير التردد وحماية أساسية للفات العضو الثابت وأخرى لحماية العضو الدوار .... لكن ورغم كل التقدم التكنولوجي وكل الاحتياطات المأخوذة أثناء توصيل الأجهزة فإن موثوقية عمل أجهزة الحماية لا تصل إلى 100٪ لذلك فإن كل نوع من هذه الحمايات لا يقتصر على طريقة واحدة بل كثيرا ما تضاف حماية احتياطية تحمي المولد الكهربائي في حالة عدم عمل الحماية الأساسية.

ومن بين هذه الحمايات الاحتياطية حماية وحدة التوليد ضد زيادة التيار وذلك باستخدام ثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات (شكل 1). مبدأ هذه الحماية يرتكز أساسا على الفكرة التالية: عند حدوث قصر داخل المولد أو خارجه فإن ذلك سيؤدي الى انخفاض في الجهد على أطرافه، لذلك لا تعمل مرحلات زيادة التيار طالما لم ينزل الجهد تحت قيمة معينة (80٪ من الجهدى المقنن عادة). ولتنفيذ هذا الأمر تستخدم مرحلات الجهد المنخفض لمراقبة الجهد على أطراف المولد، فكلما كان الجهد في حدود القيمة المسموح بها تمنع هذه المرحلات مرحل التيار من العمل.

إن هذه الطريقة تحمي المولد عندما يحدث عطل في الحماية الأساسية، أي الحماية التفاضليةز ذلك أن الخطأ داخل المولد (القصر لعدد من اللفات) يؤدي الى انخفاض في الجهد وبالتالي الى عمل مرحل زيادة التيار في حال عدم عمل المرحلات

التفاضلية. ونظرا الى أن القصر الداخلي يؤدي الى انخفاض في الجهد وبالتالي الى انخفاض في التيار المسحوب فإن تيار مرحل زيادة التيار يضبط عند قيمة أقل من تيار الحمل الكامل.

2) هدف التجربة:

الهدف من هذه التجربة هو فهم كيفية حماية وحدة التوليد عند زيادة التيار وذلك باستخدام ثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات.

3) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

- موديول قاطع الى ثلاثي الأوجه: Circuit Breaker Module (cat. 74556)
- محول 3 Φ transformer (cat n° 74550) 3 Φ
- حمل مقاومي 3 Φ Resistive load (cat n° 73310) 3Φ
- محول جهد ثلاثي الأوجه 3 Φ voltage transformer (cat n° 74516)
- عدد ثلاثة مرحل زيادة تيار احادي الوجه 1 Φ Definite time overcurrent-relay (cat n 745291)
- عدد اثنان مرحل زيادة وانخفاض جهد Overvoltage/Undervotage-time-lag relay (cat 45518)

يمكن ضبط عمل هذا المرحل عند هبوط الجهد بقيم تتراوح بين 0.7 Un و 0.95 Un

زمن استجابة هذا المرحل يمكن ضبطه عند قيم تتراوح بين 0.5 sec و 5 sec وذلك عندما يكون الخطأ على وجه واحد. فيما عدا ذلك تكون استجابة المرحل لحضيا.

ملحوظة هامة: مرحلات التيار مزودة بمحولات التيار مضبوطة عند نسبة تحويل ثابتة 1:1

4) مراحل التجربة:

1.4) الحالة النظامية:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1)
- ضبط عمل مرحل انخفاض الجهد عند تأخير زمني 0.5 sec و 0.95 Un
- ضبط مقاومة الحمل عند وضعية 100٪ عند بادية التجربة.
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح إلى وضع ON
- قم بتخفيض مقاومة الحمل تدريجيا حتى يعمل مرحل انخفاض الجهد. أرصد جهد عمل المرحل.
- ثم قم بترفيع مقاومة الحمل تدريجيا حتى يعتق مرحل انخفاض الجهد. أرصد جهد الاعتاق.

جهد العمل المضبوط على المرحل (undervoltage set operating value)	
جهد العمل المقاس في التجربة (undervoltage measured operating value)	
جهد الإعتاق المقاس في التجربة (undervoltage measured release value)	
نسبة الأمساك: جهد العمل / جهد الأعتاق (resetting ratio)	

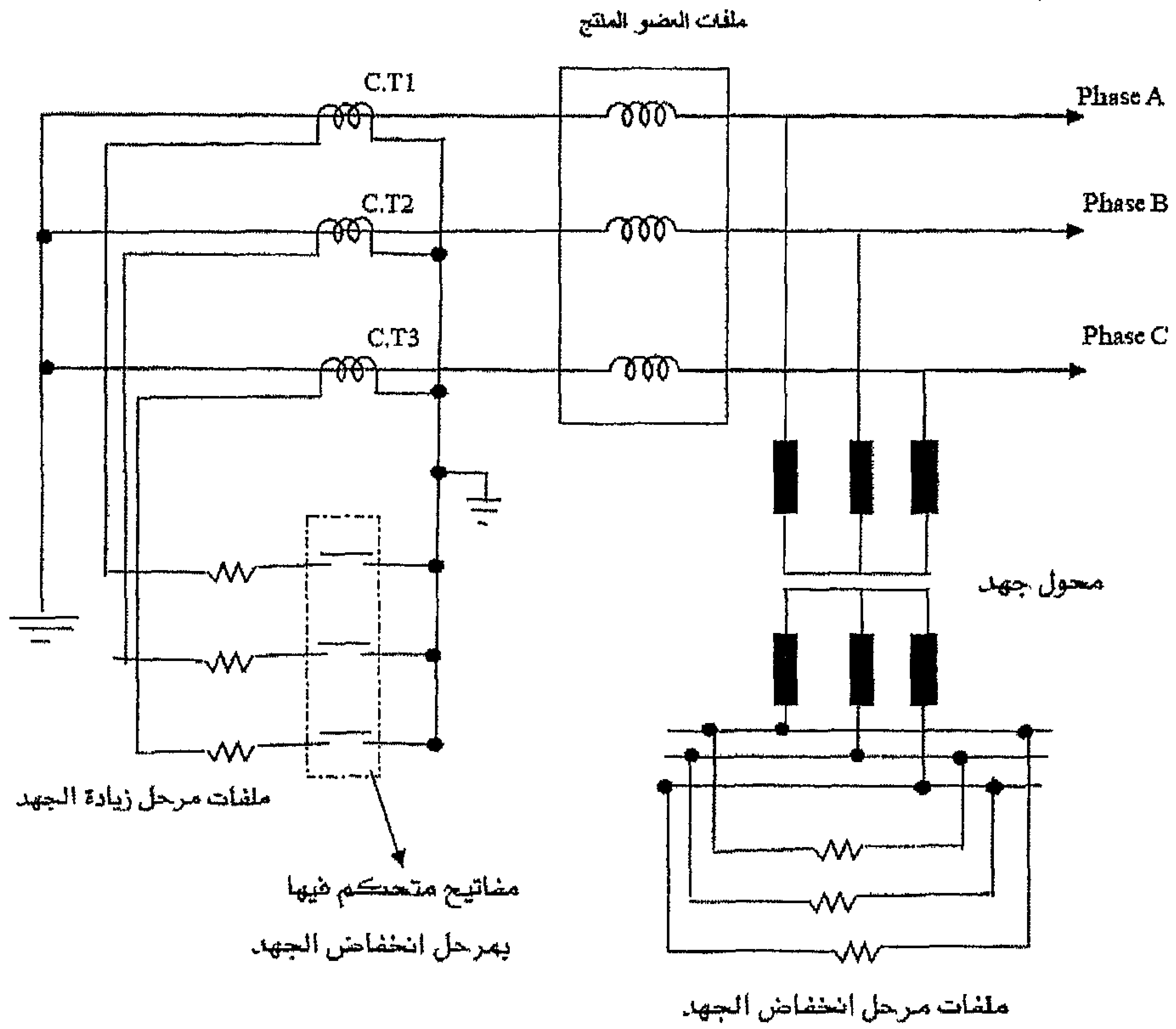
2.4) حالة قصر بين وجهين:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

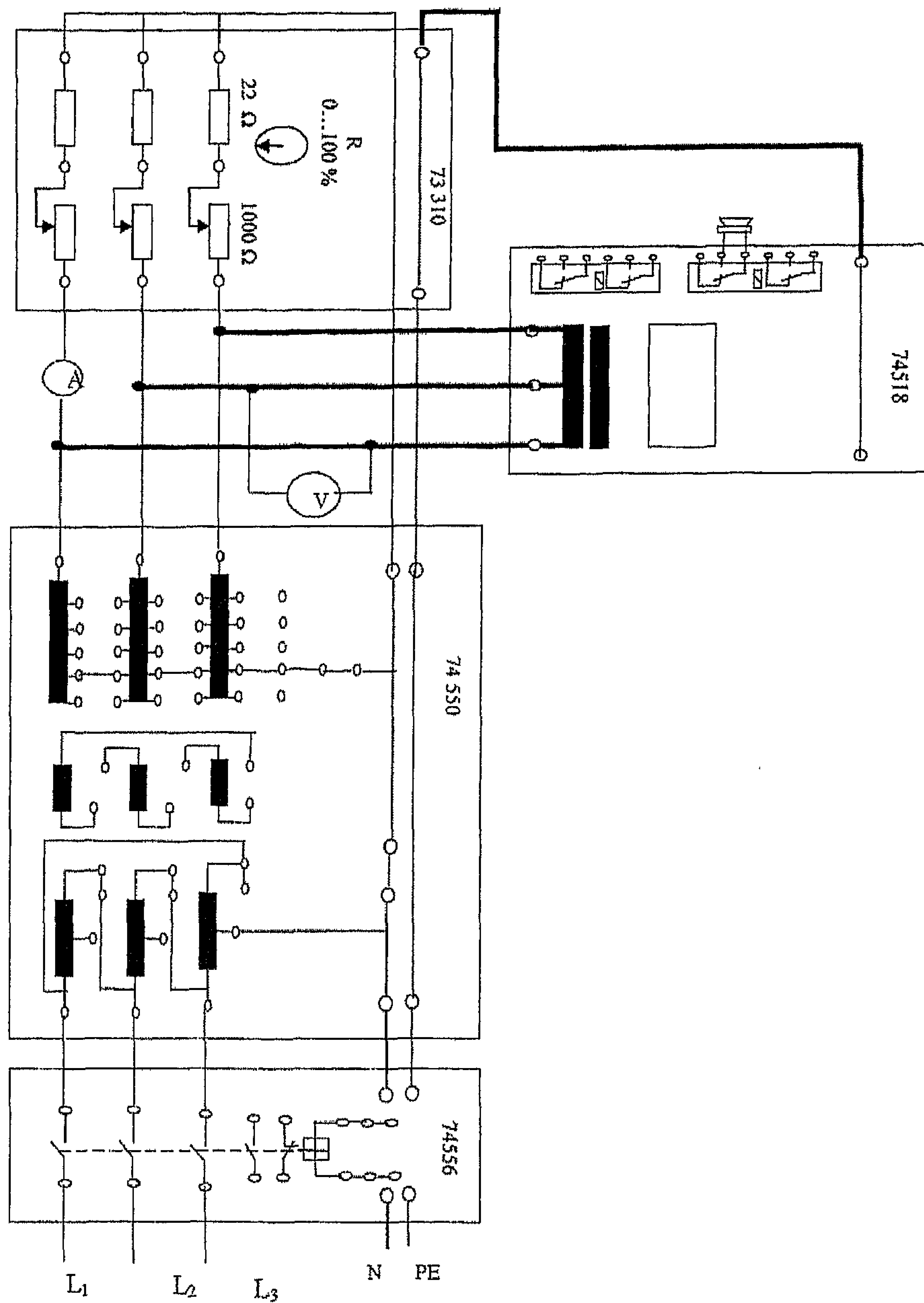
- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (2)
- تأكد بأن مصدر الجهد 3Φ في وضع OFF وأن المرحلات مضبوطة عند القيم المذكورة سابقا.
- ضبط مرحلات التيار عند تيار التقاط 1.5 A وتأخير زمني 1 sec
- اقصر وجهين لثانوي المحول (محول 3 Φ transformer cat n° 3 Φ 74556) باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة (عملية القصر تتم ناحية الحمل حتى يمكن قراءة التيار).
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON
- ارصد تيار الخطأ المار (عملية رصد تيار القصر يجب أن تتم بسرعة قبل أن يفصل القاطع)
- ارصد الجهد على أطراف المحول.

4.3) حالة قصر بين الاطوار الثلاثة:

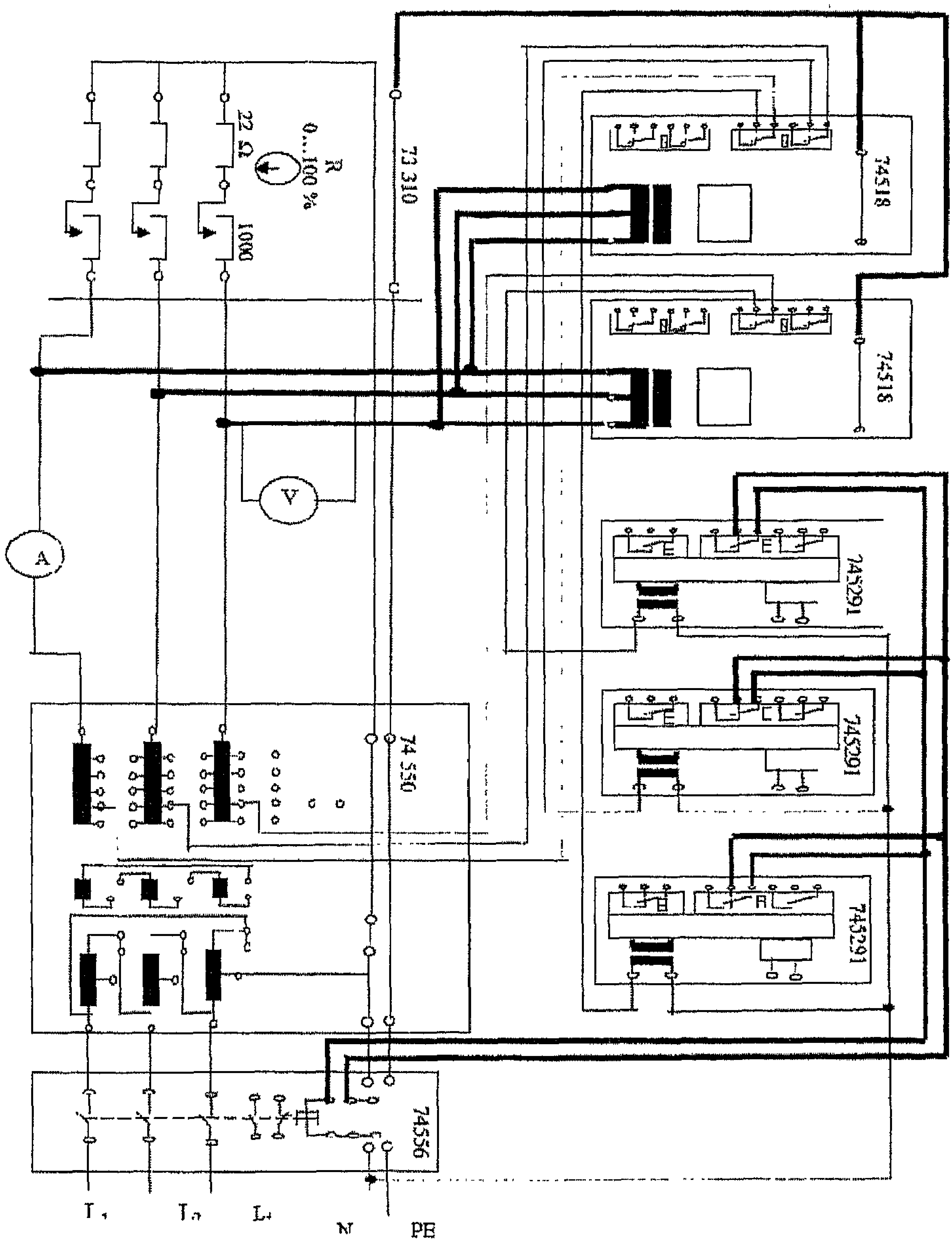
أعد خطوات التجربة 2.4 عند قصر الاطوار الثلاثة معا.



شكل (1) مبدأ حماية المولد بثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات



شكل رقم (2) اختبار مرحل انخفاض الجهد



شكل (3) حماية المولد بثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات

التجربة رقم 12: تجربة لحماية وحدة التوليد عند زيادة التيار باستخدام ثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات (الجزء الثاني)

1) هدف التجربة:

نواصل في هذه التجربة فهم كيفية حماية وحدة التوليد عند زيادة التيار وذلك باستخدام ثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات.

في هذا الجزء نهتم بحالات زيادة التيار عندما يحصل قصر داخل لفات المولد. كما ذكرنا في التجربة السابقة نعوض ملفات العضو الثابت للمولد بملفات ثانوي محول.

2) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

نفس أجهزة التجربة السابقة.

3) مراحل التجربة:

1.3) الحالة النظامية:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1)
- ضبط عمل مرحل انخفاض الجهد عند تأخير زمني 0.5 sec و 0.95 Un
- ضبط مقاومة الحمل عند وضعية 100٪ عند بادية التجربة.
- ضبط محولات التيار عند نسبة تحويل 1:1 باستخدام الأطراف 1.2 – 1.1 ناحية الابتدائي
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح إلى وضع ON

- قـم بتخفـيض مقاومـة الحمـل تـدريجيا حتـى يعمـل مرحـل انخفـاض الجهـد. أرصد جهد عمل المرحل.
- ثـم قـم بترفيـع مقاومـة الحمـل تـدريجيا حتـى يعتـق مرحـل انخفـاض الجهـد. ارصد جهد الاعتاق.

2.3) حالة قصر داخل أحد أطوار المحول:

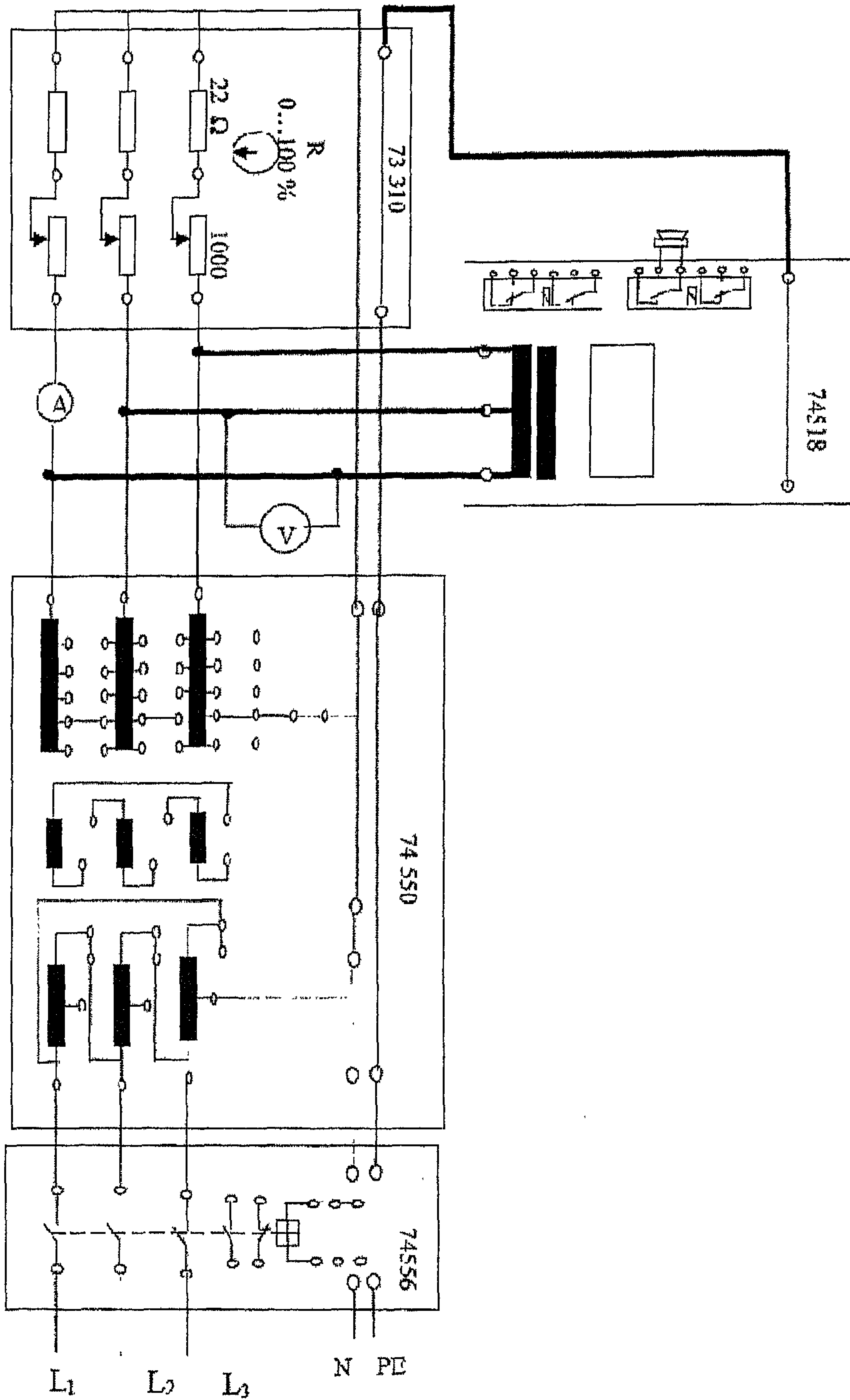
وذلك مـن خلال الخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كماهو موضح بالشكل (2).
- الابقاء على القيم المستخدمة في التجربة السابقة.
- الحفاظ على قيمة مقاومة الحمل عند القيمة التي عندها تم اعتاق المرحل.
- القيام بقصـر بين المآخذ Un5% and Un 15% للطـور الاول مـن جهـة الثانوي للمحول.
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح الى وضع التشغيل.
- رصد زمن الفصل الدارة من جهة القاطع الالي.

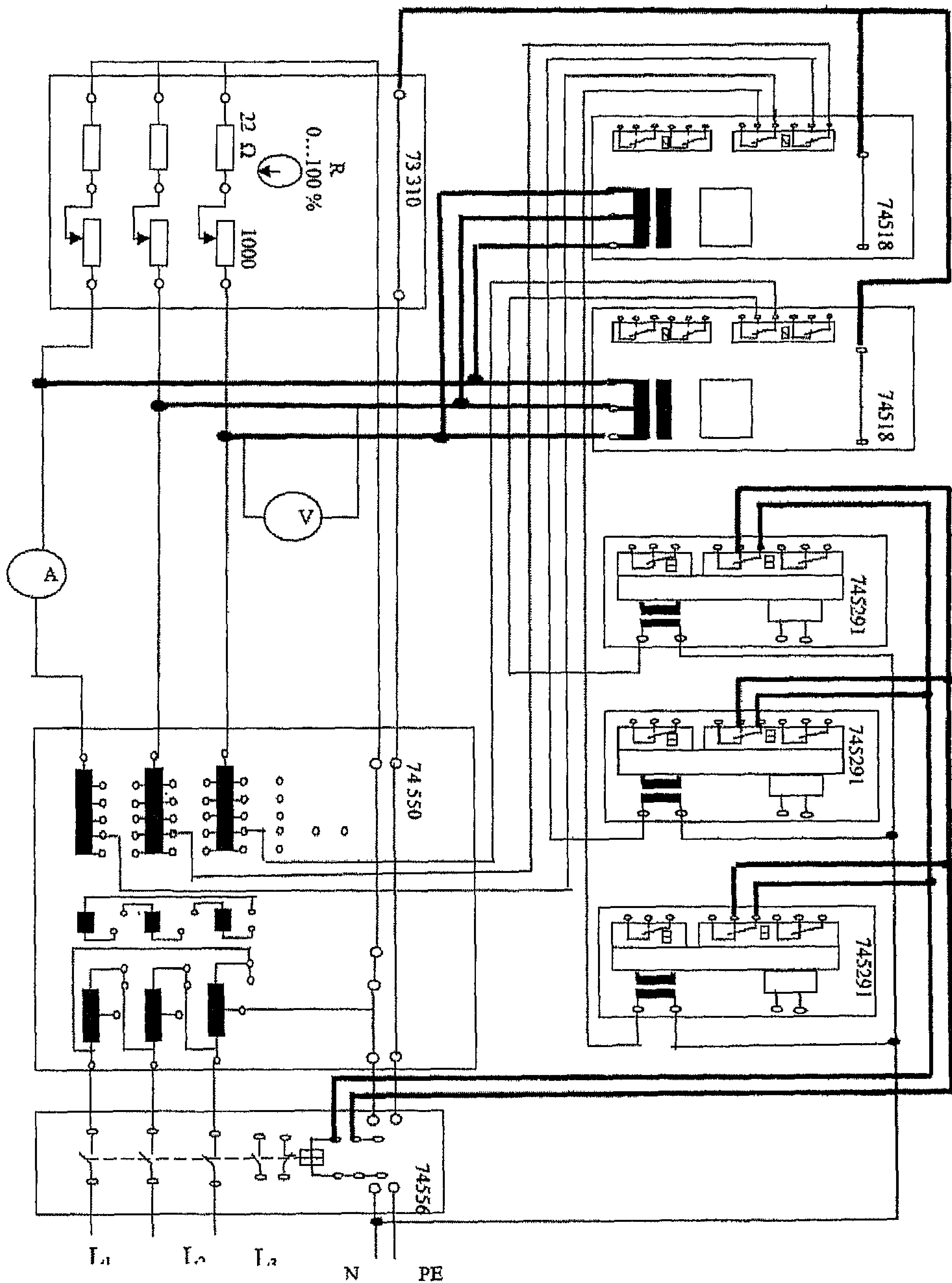
3.3) حالة قصر داخل الأطوار الثلاثة للمحول:

نقـوم باعـادة خطـوات التجربـة السـابقة مـع القيـام بعمـل خطـوة واحـدة مختلفة وهي قصر بين المآخذ Un 5% and Un 15% للأطوار الثلاثة مـن جهـة الثانوي للمحول.

قارن بين زمن الفصل في هذه التجربة وزمن الفصل في التجربة السابقة.



شكل رقم (1) الحالة النظامية: ضبط جهد اعتاق مرحل انخفاض الجهد



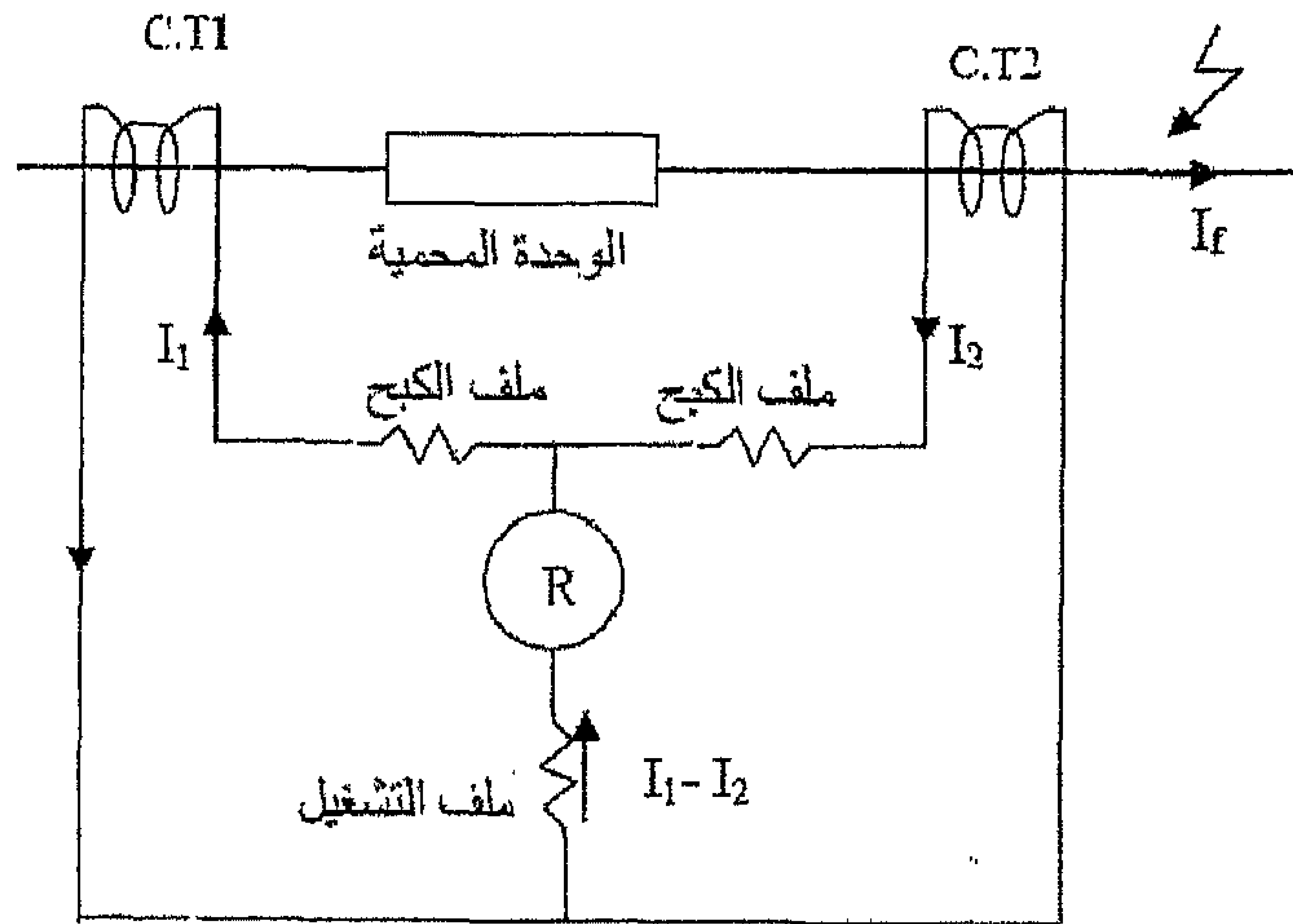
شكل رقم (2): حماية المولد بثلاث محولات تيار وثلاث مرحلات

التجربة رقم 13: تجربة لحماية تفاضلية لوحدة التوليد

1) مقدمة:

تعتبر الحماية التفاضلية للمولدات الكهربائية الحماية الأساسية لملفات العضو المنتج ضد الأخطاء الداخلية. وتتم عادة عن طريق استخدام الحماية التفاضلية الانحيازية حيث يتكون مرحل الحماية من ملفين اثنين: ملف تشغيل (Operation coil) وملف كبح (Restraint coil). وعادة يكون عدد لفات ملف الكبح أقل من عدد لفات ملف التشغيل.

مبدأ عمل المرحل في هذه المرحلة يعتمد على الفرق بين العزم الناتج عن ملف التشغيل والعزم الناتج عن ملف الكبح. ويتم عادة توصيل ملف التشغيل في نقطة وسط ملف الكبح (شكل 1).



شكل (1): الدائرة المكافئة للوقاية التفاضلية الانحيازية

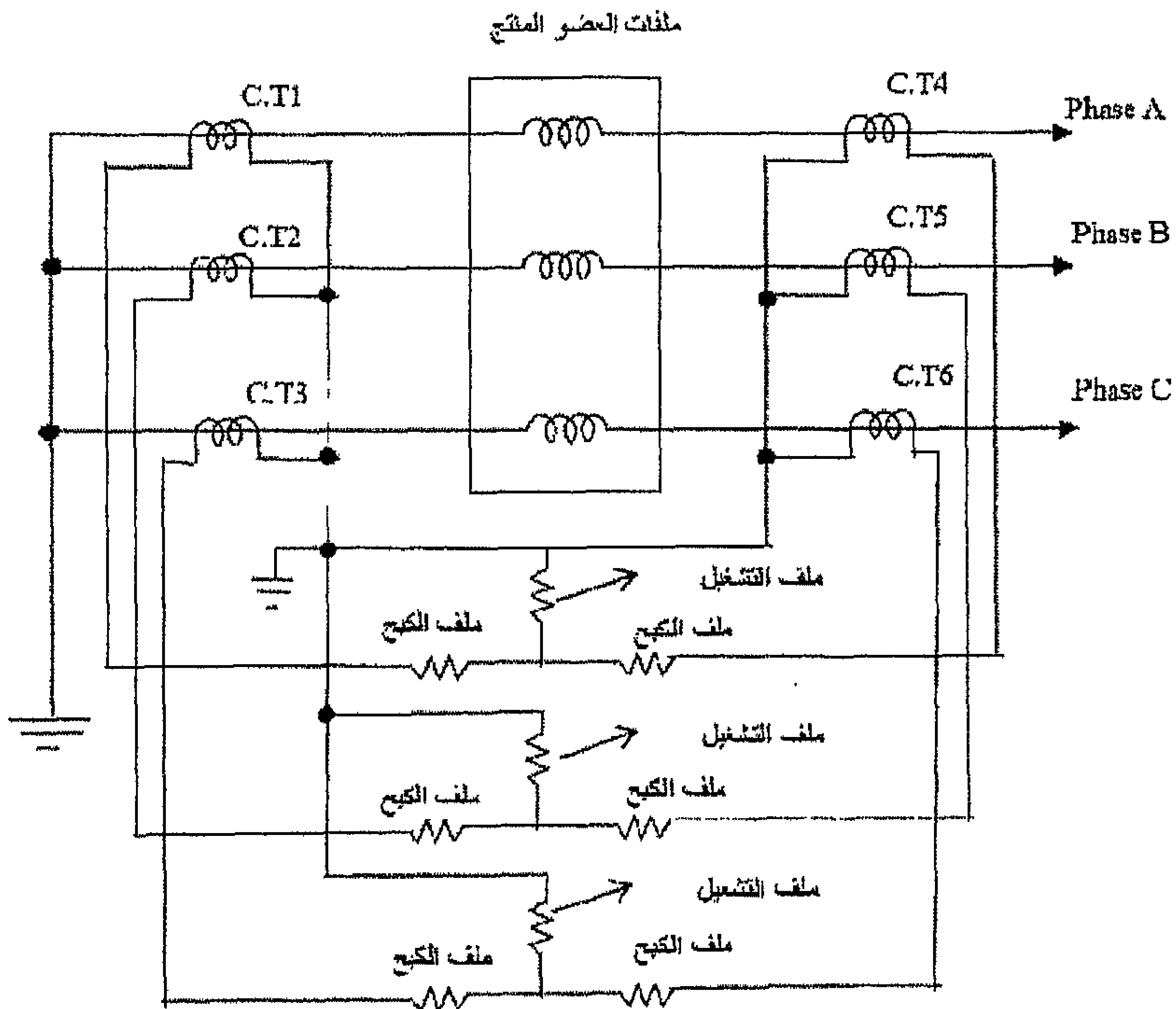
حتى لا يعمل المرحل نتيجة خطأ خارجي (وهو الشيء المطلوب من الحماية التفاضلية) فان العزم الناتج عن ملف التشغيل (Top) يجب أن يكون أقل من العزم الناتج عن ملف الكبح (Trest). أي، واعتبارا للتيار المار في ملف التشغيل I_1+I_2 والتيار المار في ملف الكبح $(I_1+I_2/2)$ يكون هذا الشرط كالآتي:

$$K_2 \left[I_1 - I_2 \right]^2 < K_1 \left[\frac{I_1 + I_2}{2} \right]^2$$

$$\Rightarrow \frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}} < \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} < K$$

اذن لو كان $\frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}} < K$ فان المرحل لن يعمل نتيجة خطأ خارج منطقة الحماية، حيث أن K تعتمد على عدد لفات ملف الكبح وتسمى نسبة الانحياز. عمليا، يمكن ضبط نسبة الانحياز K ما بين 40% → 10% وذلك عن طريق مآخذ للتحكم في عدد لفات ملف الكبح.

كما ذكرنا في البداية تستخدم الحماية التفاضلية الانحيازية لحماية العضو المنتج للمولد ضد الأخطاء الداخلية. الشكل (2) يبين مبدأ هذه الحماية.



شكل رقم (2): حماية ملفات العضو المنتج بواسطة الوقاية التفاضلية الانحيازية

2) هدف التجربة:

تهدف هذه التجربة لفهم كيفية حماية ملفات العضو المنتج للمولد الكهربائي من الأخطاء الداخلية وذلك باستخدام الوقاية التفاضلية الانحيازية. كما تهدف هذه التجربة للتعرف على ملفات المرحل التفاضلي الانحيازي وكيفية ضبط نسبة الانحياز K حتى نضمن عدم عمل المرحل تحت ظروف التشغيل العادية.

3) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

- مصدر تغذية ثلاثي الأوجه ذو جهد متغير Variable 3Φ Power Supply
- مصدر جهد متغير 3x(0-380V) مقنن تياره 7A مزود بثلاثة قواطع حرارية Thermal relays مقنن تيار كل منها 6.5A.
- وحدة قاطع آلي Circuit breaker module (cat n 74556)
- عدد 6 محول تيار أحادي الوجه 1 Φ current transformer (cat. N° 74510)
- مرحل زيادة تيار ثلاثي الأوجه ذو زمن عكسي. 3 Φ Inverse-time overcurrent-relay (cat n 75523)
- حمل مقاومي ثلاثي الطور 3Φ Resistive load (cat n 75523).
- عدد 3 وحدات من نوع LC load cat n 74531
- أميتر عدد2.

ملحوظة:

1) يتم تمثيل ملفات العضو الثابت امولد بثلاثة عناصر L = 300 mH مأخوذة من ثلاثة وحدات من نوع LC load cat n 74531.

2) كل محولين تيار مستخدمين على نفس الطور يجب أن يكونان متماثلين بأكبر قدر ممكن.

4) خطوات التجربة:

على المتدرب القيام بالخطوات التالية:

- توصيل الدائرة كما هو موضح في الشكل (3)
- ضبط المرحل عند تيار التقاط 0.5A وتأخير زمني 1 sec.
- ضبط مقاومة الحمل عند وضعية 100٪.
- توصيل مصدر الجهد من خلال تغيير وضعية المفتاح الى وضع ON.
- اضبط محولات التيار عند نسبة تحويل 1:1 باستخدام الأطراف 1.1-1.2 ناحية الابتدائي.

1.4) حالة خطأ خارج منطقة الحماية:

- غير المقاومة بحيث يكون التيار في الحمل (أي التيار الخارج من المنطقة المحمية)

$I_2 = 1$ A

- ارصد التيار الداخل الى المنطقة المحمية

$I_1 = \ldots\ldots\ldots$ A

- لاحظ أن المرحل لايشتغل ولا يتم فصل المنطقة المحمية

4.2) حالة خطأ داخل منطقة الحماية:

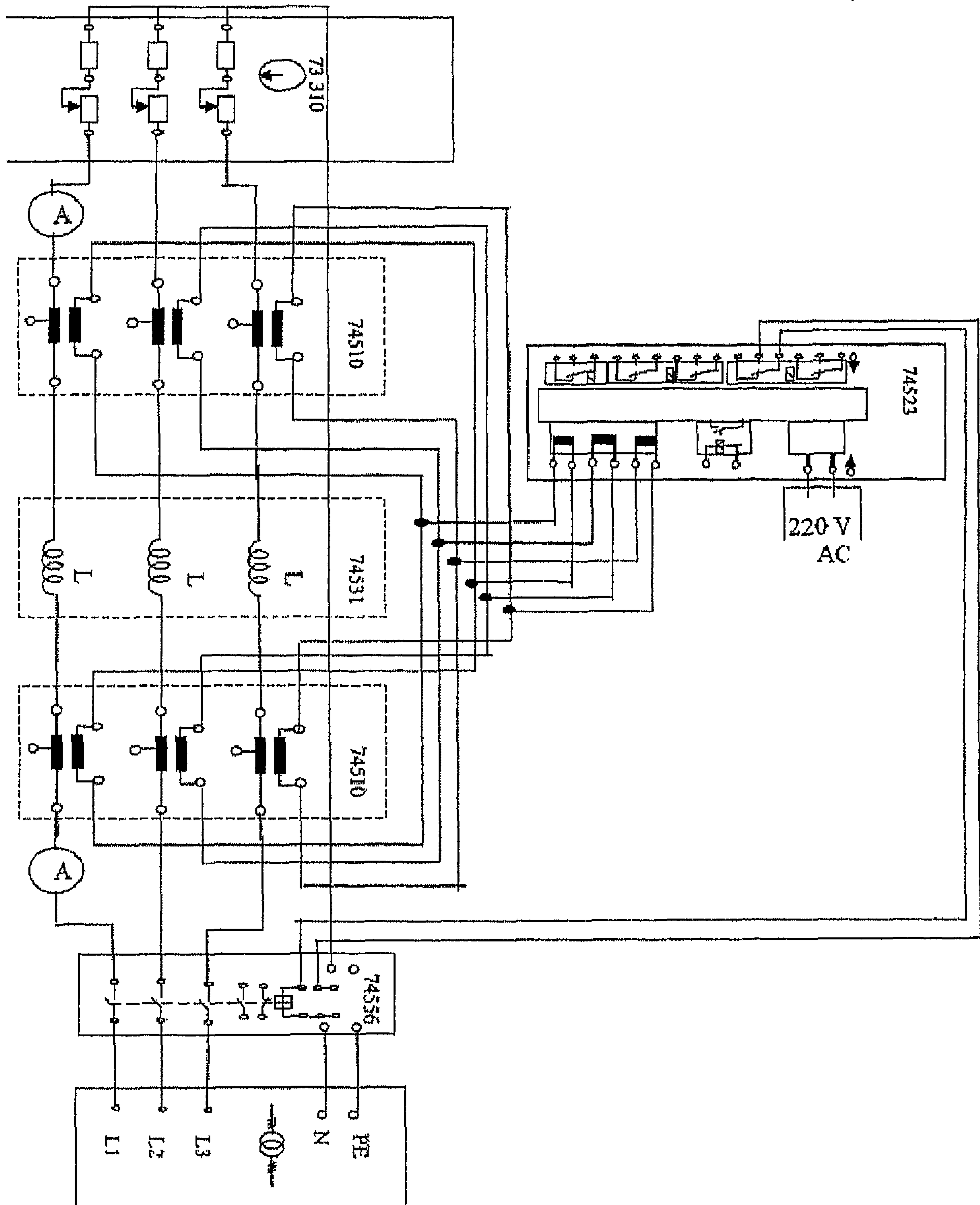
- تأكد بأن مصدر الجهد في وضع OFF وأن المرحل مضبوط عند القيم المذكورة سابقا
- أقصر أطراف الحمل L باستخدام أسلاك التوصيل المناسبة.
- غير وضعية مصدر الجهد الى وضع ON.
- ارصد بسرعة التيار الداخل الى المنطقة المحمية

$I_1 = \dots\dots\dots\dots A$

- ارصد بسرعة التيار الخارج من المنطقة المحمية

$I_2 = \dots\dots\dots\dots A$

- لاحظ أن المرحل يشتغل ويفصل المنطقة المحمية.



شكل رقم (3): حماية ملفات العضو المنتج بواسطة الوقاية التفاضلية

التجربة 14: الحماية عند انعكاس القدرة

1) مقدمة:

تنقسم الآلات الكهربائية من حيث وظيفتها الى نوعين اثنين: آلات منتجة للقدرة الكهربائية وأخرى مستهلكة لها.

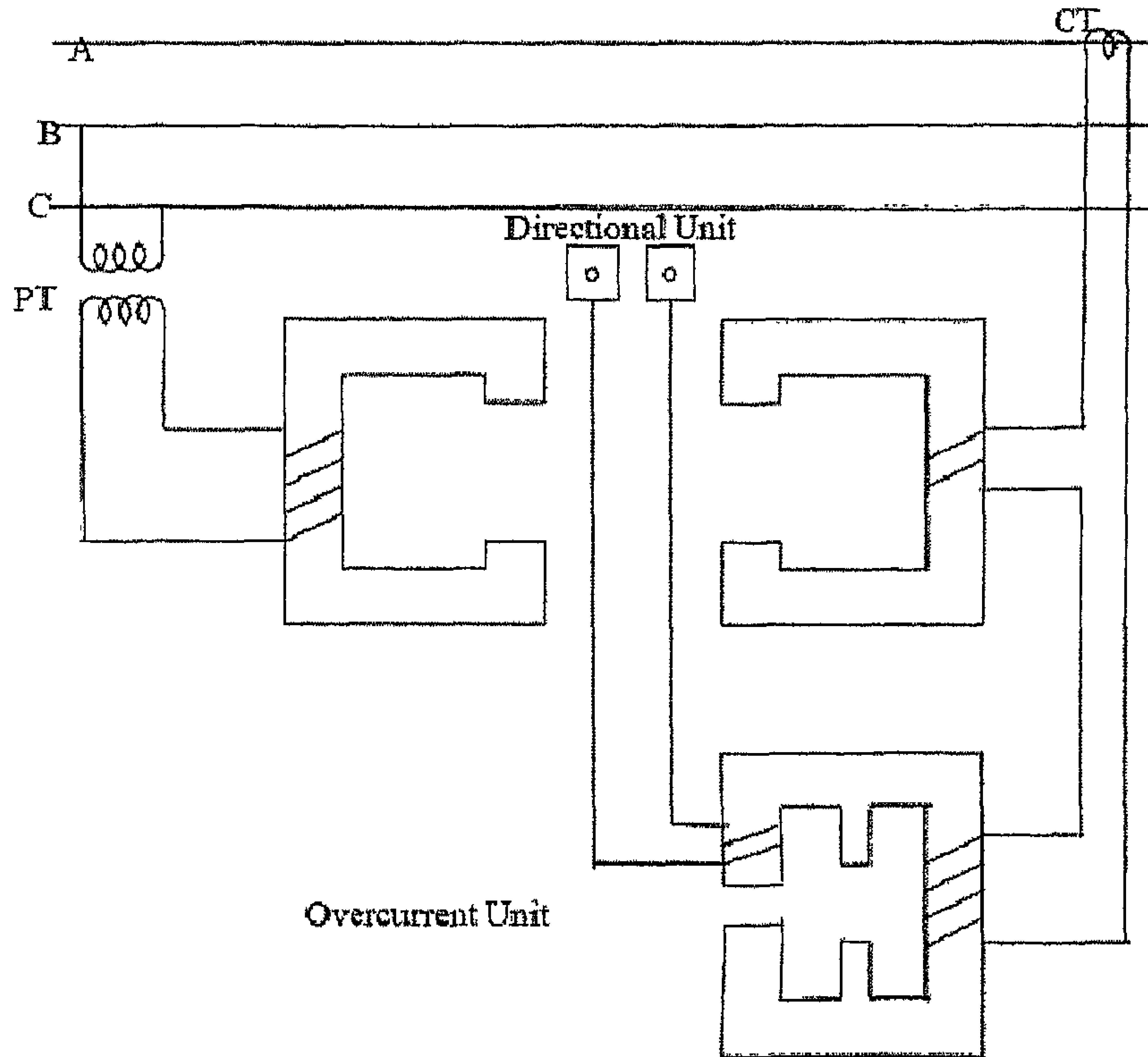
وطبقا لهذه الوظيفة يشترط أن تكون القدرة الكهربائية ذات اتجاه محدد، لكن بعض الأخطاء التي تحدث في المنظومة الكهربائية تؤدي الى الإخلال بهذا الشرط فينجر عنها انعكاس في القدرة. وهكذا يمكن أن يتحول المحرك الكهربائي الى مولد كهربائي عند حدوث قصر على الأسلاك التي يتغذى منها المحرك. وهذا الأمر خطير حيث يتسبب في ارتفاع تيار القصر.

وكذلك الشأن بالنسبة للمولد الكهربائي الذي يمكن أن يتحول الى محرك كهربائي نتيجة انعكاس القدرة وهو أمر غير مرغوب فيه.

وتجنبا للأضرار التي يمكن أن تنتج عن مثل هذه الاخطاء يجب حماية الالآت الكهربائية التي يفرض فيها اتجاه محدد للقدرة. عملية الحماية هذه تسمى بالحماية ضد انعكاس القدرة. وتستخدم لهذا الغرض المرحلات الاتجاهية Directional relays التي تعتمد في عملها مبدأ الواطميتر (Wattmeter)، أي بمعنى آخر رصد التيار والجهد في نفس الوقت.

تستخدم هذه المرحلات بالتوازي مع مرحلات زيادة التيار (Overcurrent Relays) وتسمى بمرحلات زيادة التيار الاتجاهي Directional Overcurrent Relays وتعمل في اتجاه واحد للتيار، فإذا انقلب اتجاه التيار فإن المرحل لا يعمل مهما كانت قيمة هذا التيار، إذا كان اتجاه التيار هو المرغوب فيه يعمل العنصر الاتجاهي للمرحل ويغلق دائرة التظليل لمرحل زيادة التيار وعند انعكاس اتجاه التيار

لا يعمل العنصر الاتجاهي فتبقى دائرة التظليل مفتوحة ولا يعمل مرحل زيادة التيار (شكل رقم 1).



شكل (1): مرحل زيادة تيار اتجاهي

2) الهدف من التجربة:

ان الهدف من التجربة هو معرفة كيفية الحماية عند انعكاس القدرة وذلك باستخدام مرحل زيادة التيار الأتجاهي.

3) الأجهزة المستخدمة في التجربة:

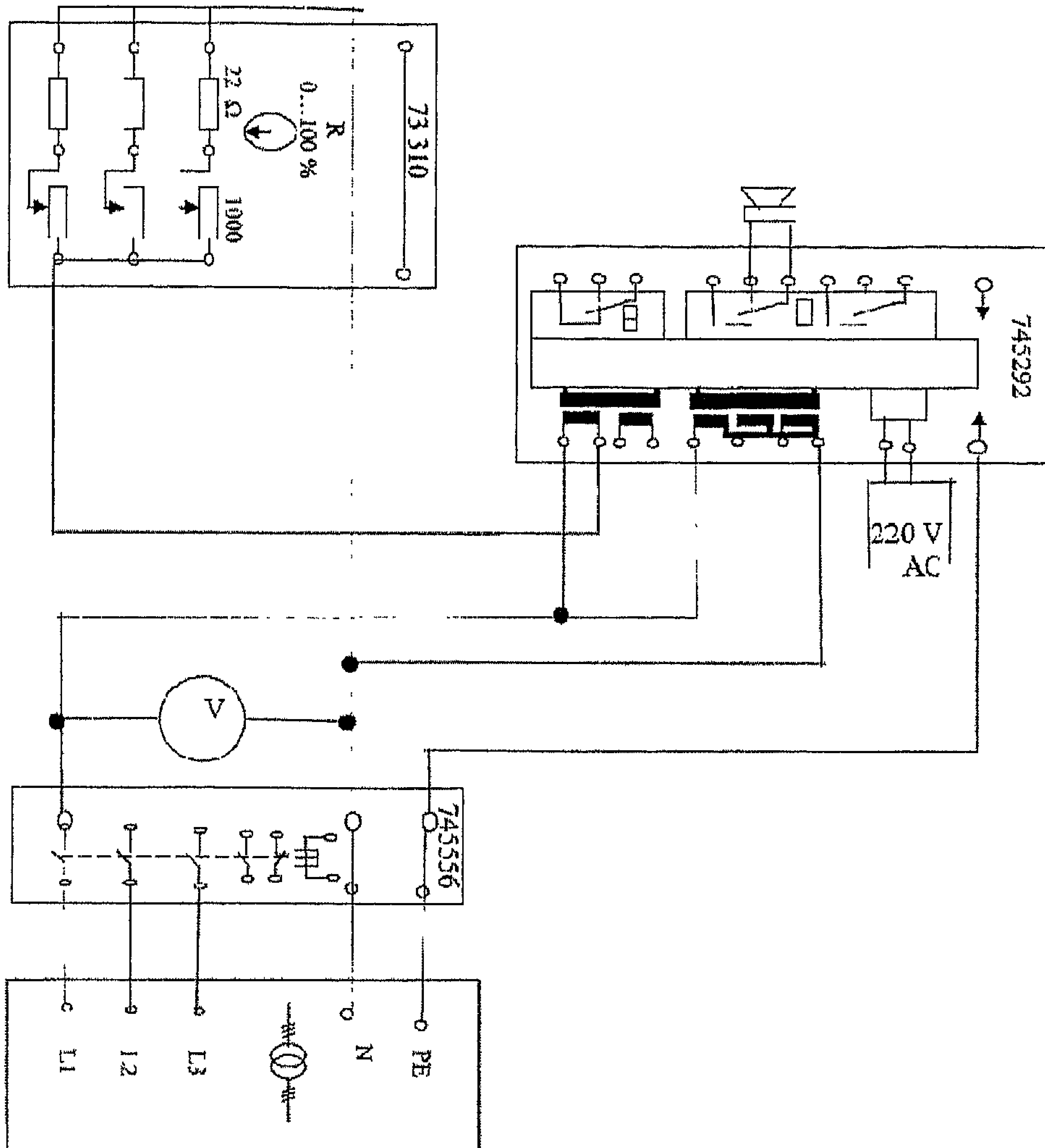
- مصدر تغذية ثلاثي الأوجه ذو جهد متغير Variable 3Φ Power Supply
- مصدر جهد متغير 3x(0-380V) مقنن تياره 7A مزود بثلاثة قواطع حرارية Thermal relays مقنن تيار كل منها 6.5A.
- وحدة قاطع آلي Circuit breaker module (cat n 74556)
- حمل مقاومي 3Φ 3Φ Resistive load (cat n 73310).
- مرحل خطأ أرضي اتجاهي 1Φ 1Φ directional earth fault rely (cat n° 745292)
- وحدة معاوقة L-C- load Module (cat n 74531)

4) خطوات التجربة:

- توصيل عناصر التجربة كما هو موضح بالشكل (2).
- التأكد من أن جهد المصدر صفر عند بداية التجربة.
- ضبط المقاومة عند R=100 Ω
- غلق الدائرة من خلال وضع ON للقاطع الآلي.
- اختيار قيمة للزاوية α وزيادة الجهد بالتدريج من 0 حتى يصل الجهد 100 فولت ليعمل المرحل.
- اذا لم يعمل المرحل نقوم بتحديد قيمة جديدة لـ α ونعيد الخطوات السابقة.
- نعيد نفس التجربة السابقة باستخدام حمل مقداره L= 300mH وحمل C=30 μF
- نرصد قيمة α التي يعمل عندها المرحل ونستخدمها لملئ الجدول التالي:

قيمة الزاوية α التي يعمل عندها المرحل باستخدام R	
قيمة الزاوية α التي يعمل عندها المرحل باستخدام L	
قيمة الزاوية α التي يعمل عندها المرحل باستخدام C	

- قارن بين الزوايا المقاسة معمليا وتلك التي نحصل عليها بالحسابات



شكل (2): اختبار مرحل زيادة تيار اتجاهي للحماية عند انعكاس القدرة

المراجع

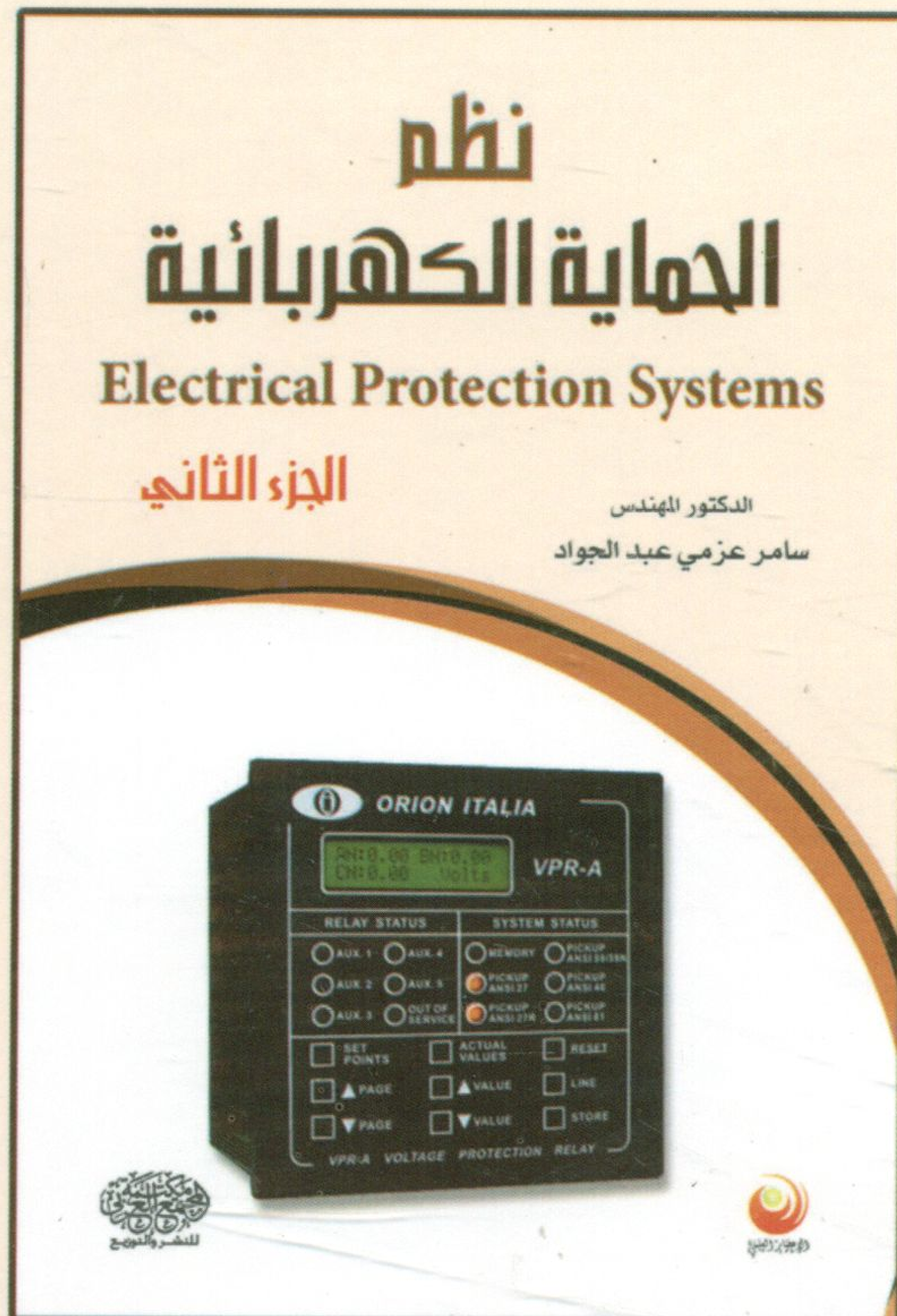
المراجع العربية:

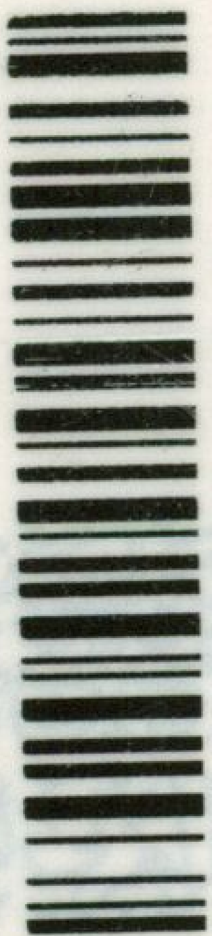
1. كتاب حماية منظومات توزيع القوى الكهربائية. د. عبد المنعم موسى، د. آسر زكي. شركة منشورات دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان.
2. كتاب موسوعة هندسة الحماية الكهربائية للمهندس محمد خضير حمادي، دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان.
3. كتاب نظم الحماية الكهربائية. د. محمود جيلاني.
4. مذكرة وقاية النظم الكهربية. د.محمد محمود عبد الغني، قسم التقنية الكهربية – الكلية التقنية بالدمام، السعودية.

المراجع الأجنبية:

1. Power System Protection, IEEE Electricity Traning. Association, 1997.
2. Transformer Protection Application Guide, Basler. Electric Company, 1996.
3. Application Guide for industrial Generator Protection.
4. Application Guide Lines for protection of Industrial. Three phases Motor, GEC Company, 1995.

نظم الحماية الكهربائية





مكتبة ... التوزيع

الأردن-عمان -وسط البلد- ... كس : 2739 463 6 962+

خلوي 5651920 79 962+ ص.ب 8244 الرمز البريدي 11121 جبل الحسين الشرقي

الأردن - عمان - الجامعة الأردنية - ش. الملكة رانيا العبدالله - مقابل كلية الزراعة - مجمع زهدي حصوة التجاري

www.muj-arabi-pub.com

E-mail : info@muj-arabi-pub.com

moj_pub@yahoo.com





دار الإعصار العلمي للنشر والتوزيع

الاردن - عمان - مرج الحمام - شارع الكنيسة - مقابل كلية القدس

هاتف 0096265713906 فاكس 0096265713907

www.dar-aleasar.com